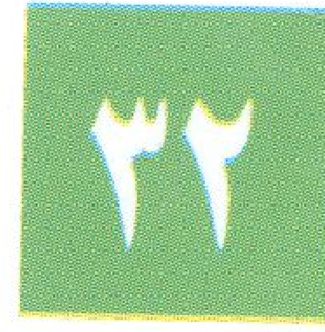



# مقدمة فى علم النظم البيئية




الدكتور
محمد محمد الشاذلى

دار الفكر العربى

سلسلة الفكر العربي
لمراجع العلوم الأساسية
-٣٢-

# مقدمة
# فى
# علم الأنظمة البيئية

تأليف
**أ.د. محمد محمد الشاذلى**
أستاذ علم البيئة -كلية العلو م- جامعة القاهرة

مراجعة وتقديم
**أ.د. محمد عبد الفتاح القصاص**
أستاذ العلوم البيئية- جامعة القاهرة

الطبعة الأولى
١٤٢٨هـ/ ٢٠٠٧م

ملتزم الطبع والنشر
دار الفكر العربي
٩٤ شارع عباس العقاد - مدينة نصر - القاهرة
ت: ٢٢٧٥٢٩٨٤ - فاكس: ٢٢٧٥٢٧٣٥
١٦ شارع جواد حسنى - ت: ٢٣٩٣٠١٦٧
www.darelfikrelarabi.com
INFO@darelfikrelarabi.com

٥٧٤,٥ محمد محمد الشاذلي.
م ح م ق مقدمة في علم الأنظمة البيئية/ تأليف محمد محمد الشاذلي؛ مراجعة وتقديم محمد عبد الفتاح القصاص. ـ القاهرة: دار الفكر العربي، ١٤٢٨ هـ = ٢٠٠٧م.
٣٦٧ ص: إيض؛ ٢٤ سم.- (سلسلة الفكر العربي لمراجع العلوم الأساسية؛ ٣٢)
يشتمل على ببليوجرافيات.
يشتمل على فهرس بالمصطلحات الواردة بالكتاب.
تدمك: ٩ - ٢٣٠٣ - ١٠ - ٩٧٧.
١ ـ البيئة، علم. ٢ ـ الأنظمة البيئية. ٣ - البيئة والإنسان. ٤ ـ التنمية المستدامة والبيئة. ٥ ـ صحة النظام البيئي. ٦ ـ المجتمعات العمرانية والصناعية وعلم البيئة. أ ـ محمد عبد الفتاح القصاص، مراجع. ب - العنوان. جـ - السلسلة.

التصميم والإخراج الفني
هناء عصام

رقم الإيداع: ١٤٧٠٩ / ٢٠٠٧

تنفيذ وطباعة الكتاب: مطبعة البردي بالعاشر من رمضان

بسم الله الرحمن الرحيم

# تقديم السلسلة

الحمد لله رب العالمين. . خلق الإنسان، علّمه البيان،

والصلاة والسلام على أشرف المرسلين، سيدنا محمد النبى الأمى العربى الصادق الأمين، وعلى آله وصحبه والتابعين بإحسان إلى يوم الدين.

أما بعد،

فإن اللغة ـ أىّ لغة ـ هى وسيلة التواصل الفكرى بين أبناء الأمة الواحدة، وهى فى الوقت نفسه تمثل حاجة ملحّة، وضرورة لا غنى عنها لكل أمة تشرع فى النهوض من كبوتها وتسعى إلى اللحاق بركب الحضارة، مؤمنة بالدور الأساسى للعلوم الأساسية والتطبيقية والتقنية فى صنع التقدم والرقى.

هذه الحقيقة التاريخية استوعبها علماء الحضارة العربية الإسلامية عندما ترجموا معارف السابقين إلى اللغة العربية، واستوعبها أيضا الغربيون عندما ترجموا علوم الحضارة العربية الإسلامية فى أوائل عصر النهضة الأوربية الحديثة، وتعيها اليوم كل الأمم التى تدرس العلوم بلغاتها الوطنية، فى سعى حثيث نحو المشاركة الفعالة فى إنتاج المعرفة وتشييد صرح الحضارة المعاصرة.

ولقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية والتقنية التى تنشدها أمتنا العربية الإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من الوهن الذى أصاب أهلها، وما ذلك إلا لأن الله ـ سبحانه وتعالى ـ قد خصّها بصفات تميزها على غيرها، وكفلها بحفظه حين تكفّل بحفظ قرآنه العظيم.

والحديث عن هذه الضرورة الحضارية لتعريب العلم والتعليم قد تجاوز الآن مرحلة الإقناع بالأدلة والبراهين المستقاة من حقائق التاريخ ومعطيات الواقع المعاش، وعليه أن ينتقل إلى مرحلة التخطيط والتنفيذ، وفق أسس وضمانات منهجية مدروسة، وعن طريق آليات ومؤسسات قادرة على إنجاز المشروع الحضارى الكبير؛ ذلك أن اجتياز حالة التخلف العلمى والتقنى التى تعيشها الأمة العربية والإسلامية يجب أن يصبح هدفا عزيزا تُستحث لأجله الهمم، وتستثار العزائم.

**ودار الفكر العربى** ـ من جانبها ـ قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضارى الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت فى إعداد «**سلسلة مراجع العلوم الأساسية**» فى مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والچيولوچيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم فى مراحل العمر المختلفة بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص، فى ضوء الأهداف الآتية:

* ربط المادة العلمية بما يدرسه الطلاب فى مناهجهم الدراسية، وعرضها على نحو يوافق التصور الإسلامى للمعرفة، ويحقق أهداف وغايات التربية الإسلامية الرشيدة.

* إثراء الثقافة العلمية لدى الطلاب والارتقاء بذوقهم العلمى مع تنمية الجانب التجريبى والتطبيقى لتعويدهم حسن الاستفادة من كل ملكات الفكر والعمل التى وهبها الله ـ سبحانه وتعالى ـ للإنسان.

* إبراز الدور الرائد الذى قام به علماء الحضارة العربية الإسلامية ـ قديما وحديثا ـ فى دفع مسيرة التقدم العلمى.

* تتبع نمو المفاهيم العلمية وصولا إلى أحدث الكشوف والمخترعات، وذلك بهدف غرس منهجية التفكير العلمى لدى الطلاب، وتوسيع مداركهم إلى أبعد من حدود الموضوعات الدراسية المقررة عليهم.

* الالتزام بما أقرته مجامع اللغة العربية من مصطلحات علمية، ويفضل أكثرها شيوعا مع ذكر المقابل الأجنبى.

وقد عهدت **دار الفكر العربى** بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدارات هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكريها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

﴿رَبَّنَا لا تُزِغْ قُلُوبَنَا بَعْدَ إِذْ هَدَيْتَنَا وَهَبْ لَنَا مِن لَّدُنكَ رَحْمَةً إِنَّكَ أَنتَ الْوَهَّابُ ۝٨﴾ [آل عمران].

وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين

**أحمد فؤاد باشا**

جميع المراسلات والاتصالات على العنوان التالى:

## دار الفكر العربى

سلسلة الفكر العربى لمراجع العلوم الأساسية

٩٤ شارع عباس العقاد . مدينة نصر . القاهرة

ت: ٢٧٥٢٩٨٤ . ٢٧٥٢٧٣٥ . فاكس: ٢٧٥٢٧٣٥

www.darelfikrelarabi.com

INFO@darelfikrelarabi.com

# شكر وتقدير

لقد تطلب إصدار هذا المرجع مشاركة العـديد من العلماء والفنيين بجهودهم وخبراتهم لاستكمال جميع الجوانب العلمية والفنية والمراجعة اللغوية .

يتشرف المؤلف بتقديم الشكر «للدار الفكر العربي» كأحد كبريات مؤسسات النشر التى تقدم الـدعم المادى والفنى اللازم لإصدار المراجع العلمية باللغـة العربية والتى تبنت نشر هذا الكتاب .

يقدم المؤلف خالص الشكر للسيد مصطفى عمران الذى قام بالمراجعة اللغوية للكتاب .

إن من يتصـفح هذا الكتاب سوف يلاحظ مـدى الجهد الذى تطلبـه إخراج الأشكال التوضيحية لهذا الكتـاب، فالبرغم من صعوبة العديد من الأشكال إلا أن إخـراجهـا كان على الدرجـة اللائقة مـن الوضوح، ومن ثم فـإن المؤلف يتوجـه بخـالص الشكر والتحـية لمن قـام بالإعداد الفنى لهـذا الكتاب وإخـراج الأشكال وتحرير الكتاب حتى ظهر على صورته الحالية .

ويقدم المؤلف خالص الشكر إلى اللجنة الاستشارية العلمية التى قامت بتقييم محتوى الكتاب قـبل النشر، ونتوجه للجنة بخالص الشكر لما قدمتـه من توجيهات وانتقادات فى جميع الجوانب مـثل تعريب بعض المصطلحات وعرض المادة العلمية حيث أدى العمل عـلى مراعاة تلك التوجيـهات والانتقادات إلى الارتقـاء بمستوى الكتاب .

**المؤلف**

**يونيو ٢٠٠٧**

# تقديم

علم البيئة هو دراسة التفاعلات وتبادل التأثير بين الكائن الحى ومجموعة الظروف الفاعلة فى الحيز. معادلة ذات طرفين: الكائن والبيئة. لكن تقدم دراسات علم البيئة أظهرت الوحدة بين الكائنات والبيئة فى إطار «النظام البيئى». هذا الكتاب يعرض هذا الإطار المتكامل الذى يعين على إحاطة وافية بعلاقات الكائنات الحية التى تعيش فى حيز مكانى، العلاقات مع بعضها البعض، والعلاقات مع القوى الفاعلة فى الحيز. هذا الكتاب يقدم للمكتبة العربية دراسة فيها نقلة إلى الأمام فى مجال علم البيئة.

فكرة «النظام البيئى» تبين أن العلاقات بين الكائنات الحية المتعددة والمتنوعة المتعايشة فى حيز المكان علاقات منتظمة تحكمها قوانين تقسيم العمل بين المنتجين (النباتات الخضراء القادرة على البناء الأولى - التمثيل الضوئى) والمستهلكين (على درجاتهم (المتوالية) والمفككين (مجموعات من الكائنات الحية أغلبها فى التربة). العلاقات بين مجموعات الكائنات الحية وعوامل البيئة فى الحيز المكانى علاقات منتظمة تحكمها قوانين توجز فى كلمتين: دورات المواد وسريان الطاقة. التفاعلات فى إطار هذا «النظام البيئى» تدخل بنا فى مجالات التحولات الكيميائية والتفاعلات الفيزيقية وقوانين الديناميكا الحرارية. هذه التحولات تجمع بين الكيمياء والفيزياء وعلوم الأحياء. أقبل المؤلف على هذا العمل الواسع بعزم وقدرة وصبر، وبها أضاف إلى المكتبة العربية درة تستحق الترحيب والثناء.

أرجو أن يحفز هذا الكتاب الجامعات العربية والمصرية على تطوير دروس علم البيئة - خاصة فى كليات العلوم - ليتسع لهذا الإطار الشامل ويعين على فهم العشائر الحية وبيئتها، ويكون فى ذلك إضافة نافعة تستكمل دروس بيئة النبات وبيئة الحيوان وبيئة الإنسان. وكذلك أرجو أن يحفز هذا الكتاب على تطوير الدراسات

المتصلة بإدارة المواد الطبيعية المتجددة (الزراعة - الرعى - مصايد الأسماك - الغابات)، لأن هذه الموارد حصيلة تفاعلات تجرى فى نظم بيئية، وفهم هذه النظم والإحاطة بقواعد تفاعلاتها هى الطريق السديدة للإدارة السليمة تحقيقا للتنمية المستدامة للموارد الطبيعية.

القواعد الأساسية لتفاعلات النظم البيئية الطبيعية ترشدنا إلى قواعد موازية تحكم كيانات يصنعها الإنسان (القرية - المدينة - محطات القوى - المراكز الصناعية - إلخ) . الكتاب يفتح الباب لتطبيق قواعد التفاعلات فى النظام البيئى على هذه الكيانات المنشأة، وبذلك يفتح بابا لدراسات فى كليات الهندسة والتخطيط العمرانى تعين على فهم هذه النظم المصنوعة والإحاطة الشاملة بتفاعلاتها، وتعين على وضع نظم لإدارتها إدارة تتسم بالكفاءة والاستدامة.

هذا كتاب يستحق الترحيب. يستحق مؤلفه الثناء على الجهد الشاق الذى بذله لجمع مادة الكتاب وتنسيقها وعرضها عرضا أرجو أن لا يشق علي القارئ. ويستحق الناشر الثناء على إتاحة هذا الكتاب للمكتبة العربية.

سبتمبر ٢٠٠٧          محمد عبد الفتاح القصاص







# مقدمة

●●●●●

بدأ علم الأنظمة البيئية فى الخمسينيات من القرن الماضى، ويعتبر Odum(*) رائدًا لهذا العلم. ولكن الانطلاقة الحقيقية لهذا العلم بدأت بعد تأسيس جمعية علمية فى منتصف الستينيات من القرن الماضى نتيجة لظهور كتابين هامين وهما «الربيع الصامت» لراشيل كارسون عام ١٩٦٢(**) و«الشبح فى الآلة» لآرثاركوستلر عام ١٩٦٧(***)، حيث بدأت تتنامى نظريات النظام البيئى.

ومع بداية السبعينيات بدأ العلماء ينظرون إلى الأنظمة البيئية نظرة شمولية، وهذا يعنى أن النظام ككل لا يساوى مجموع مكوناته، بل هو أكبر من مجرد مجموع مكوناته بكثير. فالنظام البيئى نظام بالغ التعقيد ولا يمكن النظر إليه ببساطة على أنه مجموعة من مكونات حية وغير حية. **فما هو النظام البيئى؟**

لقد حاول العلماء فى خلال العقود الثلاثة الماضية الإجابة على هذا السؤال من خلال آلاف الأبحاث التى تحاول صياغة جزء يسير من حقائق النظام البيئى والتوصل إلى نظريات محددة عن ذلك النظام، ومن ثم فإنه يمكننا القول بأن النظام البيئى يتسم بالخصائص التالية:

* النظام البيئى هو نظام شبكى بالغ التعقيد (يتكون من شبكة هائلة من المكونات والطاقة والمعلومات).

* النظام البيئى له تركيب ووظائف محددة.

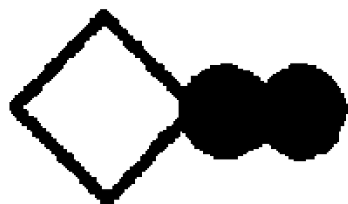
* نماذج ونظريات النظام البيئى تخضع لقدر من الشك والريبة نظرا لتعدد مكوناته وتوالى التغيرات المتوقعة وغير المتوقعة عليه.

---

(*) Odum, E. P. 1953. Fundamentals of Ecololgy. Saunders, Philadelphia. P.A.

(**) Corson, Rachel. 1962. Silent Spring. New American library. New York.

(***) Kostler, Arthur. 1967. The Ghost in the machine Macmillane, New York.





* النظام البيئى يخضع لقوانين الديناميكا الحرارية.
* يتسم النظام البيئى بخاصية التنظيم الذاتى Self Organization والسبرانية أو الانضباط، فالنظام البيئى نظام سبرانى أو منضبط Cyberenetic system. والتغيرات فى النظام البيئى غير عكسية، فعلى سبيل المثال لا يمكن استعادة نوع منقرض من النظام.
* النظام البيئى فى وضعه الراهن يعبر عن إحدى مراحل التتابع البيئى.
* تتسلسل عناصر النظام البيئى (الطاقة، المعلومات، المكونات الحية ...إلخ) فى شكل هرمى من حيث التأثير والسيطرة على النظام، فالطاقة والمكونات فى النظام البيئى تخضع إلى تسلسل شبيه بالتسلسل الوظيفى فى المجتمع البشرى، فالمكونات أو الماهيات الأعلى فى التأثير تسيطر على المكونات الأدنى.... وهكذا تنتظم العناصر فى تسلسل بدءا من البيوم وحتى الخلية، فموضع المجتمع متعدد الأنواع (البيوم) أعلى من وضع النوع، ووضع النوع أعلى فى التسلسل من أهلات النوع، والأهلات أعلى من الفرد، والفرد فى التسلسل أعلى من أعضاء جسمه، والأعضاء فى وضع أعلى من الخلايا... وهكذا يزداد التأثير والسيطرة لمكونات النظام كلما ارتفعنا لأعلى ويقل من أعلى إلى أسفل.
* النظام البيئى نظام طاقة Energetic System. ونظام معلوماتى حيث يمكن تطبيق نظرية المعلومات والاتصالات على العديد من الظواهر فى النظام البيئى مثل التنوع الحيوى والتطور، ومستويات وانسياب الطاقة فى المكونات وغيرها.

وأخيرا، تجدر الإشارة إلى أن بعض العلماء يرى أن علم البيئة وعلم الأنظمة البيئية لا يزال علمًا هشًا حيث تخضع نظرياته ونماذجه لقدر من الشك أو الريبة نتيجة كثرة مكونات النظام البيئى وشدة تعقيد التفاعلات بين تلك المكونات.

**مواصفات الكتاب:** لقد حاولت فى هذا الكتاب، قدر استطاعتى، أن أعطى القارئ فكرة شاملة ومبسطة عن النظريات والفرضيات والآراء التى تحاول





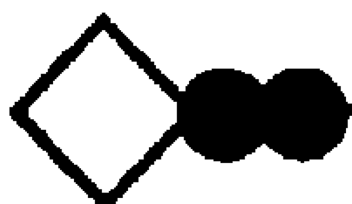
شرح وتحليل النظام البيئى حتى يكون انطلاقا للباحثين والطلاب لدراسة واستيعاب الجديد فى علم الأنظمة البيئية، ومن ثم فقد راعينا وضع قائمة مراجع مختارة بعد كل فصل من الكتاب تشتمل على المراجع المذكورة فى المتن ومراجع إضافية حتى يتسنى للقارئ دراسة أى موضوع بالمزيد من التفصيل. والكتاب مكون من تسعة فصول هى:

**الفصل الأول:** ويعطى فكرة موجزة عن علم البيئة وعلاقته بالمجتمع، وأنواع التجارب البيئية، ونشأة ونمو علم الأنظمة البيئية.

**الفصل الثانى:** يتناول هذا الفصل شرحًا موجزًا لطبيعة الكيانات والحدود فى النظام البيئى من وجهة نظر بعض فلاسفة وعلماء النظام البيئى. كما يعطى فكرة موجزة عن نظرية التسلسل الهرمى للزمان والمكان فى النظام البيئى، والمستويات المختلفة فى تفاعلات النظام البيئى.

**الفصل الثالث:** ويناقش بعض الخصائص الرقمية للأنظمة البيئية لإيضاح مدى تداخل عناصر النظام البيئى، ومن ثم دور النماذج البيئية فى شرح النظام البيئى وظهور مبدأ الشك أو الريبة فى نظريات النظام البيئى، حيث إن مبدأ الشك تم إدخاله فى نظريات النظام البيئى عام ١٩٨٨. ويرى بعض العلماء ضرورة تطبيق مبدأ الشك المعمول به فى ميكانيكا الكم على الأنظمة البيئية ويناقش الفصل وجهة نظر بعض علماء وفلاسفة النظام البيئى التى ترى أن علم البيئة لا يزال يحبو؛ نظرا لعدم القدرة على التنبؤ بالأحداث البيئية بشكل مثالى نتيجة كثرة مكونات النظام البيئى وتداخل عناصره.

**الفصل الرابع:** يخضع تحول الطاقة والكتلة فى النظام البيئى إلى القوانين الفيزيائية الأساسية، وقد أظهرت النظريات الحديثة للنظام البيئى أن هناك عدة خصائص تميز الأنظمة البيئية طبقا لمبدأ حفظ الطاقة والمادة، فالوقت يحفظ أو الزمن لا ينعدم طبقًا





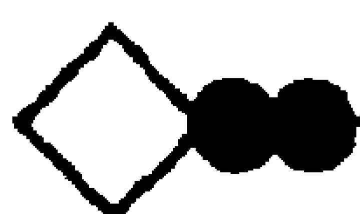
للقانون الثـانى للديناميكا الحرارية. ويـعطى هذا الفصل بعض الأسس التى تمكن القارئ من اسـتيعاب النظريات الحـديثة فى فيزيائيـة النظام البيئى. وراعيت، قدر المستطاع، شرح القليل من جوانب الموضوع فى تدرج هين بدءا من الأساسيات وحتى الوصـول لأحدث النظريات التى تؤكـد على أن النظام البيـئى نظام طاقى Energetic System يخـضع لقـوانين الـديناميـكا الحرارية.

**الفصل الخامس:** ويناقش حركة العناصر فى النظام البيئى وبخاصة الدورات البيوچيـوكيميـائية مثل: (النتروچين ـ الكربون - الميـاه)، كما يناقش أسـباب مـا يسـمى بظاهرة الصـوبة النبـاتية أى تأثيـر مجموعـة غازات ثانى أكسيد الكربون والميثان وأكسـيد النيتروز والأوزون والكلوروفلوروكربونات على التغـيرات المناخية للكرة الأرضية.

**الفصل السادس:** إن تحديد لفظ وظيفة فى النظام البيئى يمكن أن يحدد دور العمليات البيـئية المختلفة، حيث إن مجموعـة العمليات تسمى «وظيـفة» فـالوظائف فى النظام البـيئى تتكون من العـديد من العلاقات مثل وظائف النظام البيـئى فى انسياب الطاقة وحركة المياه والمواد والمعلومات، ومن ثم فـإن هذا الفصل يلقى الضوء على بعض الوظائف الأسـاسية للنـظام البيئى من منـظور بيئى واجتماعى ومنظور التنمية المستدامة.

**الفصل السابع:** قدمنا فى هذا الفصل ملخصًا لنمو مفهوم المعلومات ونظرية المعلومـات والاتصالات وبعض تطبـيقاتهـا فى النظام البـيئى، حيث إن مـفهوم لفظ المـعلومات فى نظرية المعلومـات يختلف عن مفهوم لفظ المعلومات فى الحيـاة اليومية، وقد ناقشنا أيضًا فى هذا الفـصل بعض الخلط فى مفـهوم لفظ «الأنتـروبى» فى نظرية المعلومات والديناميكا الحرارية، وفى نهاية الفصل أعطينا





إيضاحا لمفهوم وأهمـية ما سميناه بـ«البنية التحتـية للمعلوماتية الأحيـائية أو المعلومـاتية البيـولوچية» منوهين عـن الفرق بين أبحـاث المعلوماتيـة والبنية الـتحـتيـة للمعلومـاتية الأحـيائيـة ومعلوماتية النظام البيئى.

**الفصل الثامن:** تطبيقات علم البيئة، حـيث يناقش الفصل تطبيقات النماذج البيئية فى مجال السكان، ومفهوم صحة النظام البيئى ونمو هذا المفهوم من صـحة الكائن الحى إلى صحة النظام الـبيئى ككل، وأخيراً أعطـينا فكرة موجزة عن نهر النيل كنظام بيـئى والحالة التى أصبح عليها الآن.

**الفصل التاسع:** تذهب بعض المدارس العلمية الحديثة إلى وجود نوعين من النظام البيـئى، وهما: النظام البيـئى الطبيعى، والنظام البـيئى المخلق مـثل الأنظمة الزراعـيـة أو المدن، ومن ثم فإن الفـصل التاسع يناقش علاقة المجتمع البشرى بالأنظمة البيئية وما يعرف بالأنظمة التكنولوجـية؛ نظر لأن المدن هى أنظمة تنسـاب إليها ومنها الطاقـة والمواد والمعلومات وتؤثر وتتأثر بالأنـظمة البيئـية الطبيعية المحيطة بها، ونحاول فى هذا الفصل إلقاء الضوء على هذا الاتجاه الحديث فى الفكر البيئى.

**المؤلف**





❀❀❀❀❀❀❀❀

# محتويات الكتاب

❀❀❀❀❀❀❀❀

| الموضــوع | الصفحة |
|---|---|
| تقديم السلسلة | ٣ |
| الهيئة الاستشارية | ٥ |
| شكر وتقدير | ٧ |
| تقديم | ٩ |
| مقدمة | ١١ |
| المحتويات | ١٧ |
| **الفصل الأول** | |
| **علم البيئة وعلم الأنظمة البيئية** | ٢٣ |
| ١- علم البيئة | ٢٥ |
| أ- علم البيئة والمجتمع | ٢٦ |
| ب - الطرق العلمية | ٢٩ |
| ج - فرض عدم التأثير | ٣١ |
| د - التجارب | ٣٢ |
| ٢- علم الأنظمة البيئية | ٣٥ |
| أ - لماذا نشأ علم الأنظمة البيئية؟ | ٣٥ |
| ب - استمرارية النظام البيئى | ٣٦ |
| - مراجع مختارة | ٤٠ |

## الفصل الثانى


التركيب والتسلسل فى النظام البيئى ........................ ٤٣

١- تركيب النظام البيئى : ........................ ٤٥

أ- طبيعة الكيانات فى علم البيئة ........................ ٤٦

ب - الحدود ........................ ٤٧

٢- التسلسل الهرمى فى النظام البيئى ........................ ٤٨

أ- تاريخ نمو مفهوم التسلسل فى النظام البيئى ........................ ٤٩

ب- المعلومات ونظرية التسلسل الهرمى ........................ ٥٠

ج - الهولون ........................ ٥١

د - تطبيق نظرية التسلسل الهرمى فى علم البيئة ........................ ٥٢

هـ - التسلسل المكانى (الفراغى) للتركيبات والنسب فى الأنظمة البيئية ........................ ٥٣

و - التسلسل «المكانى - الزمانى» للوظائف ........................ ٥٤

- مراجع مختارة ........................ ٥٨


## الفصل الثالث


المفاهيم الأساسية والرقمية للأنظمة البيئية ........................ ٦٣

١- الأنظمة البيئية كأنظمة معقدة ........................ ٦٦

٢- دور النماذج البيئية والأدوات الأخرى فى نمو نظريات النظام البيئى.... ٦٨

٣- تطبيق مبدأ الريبة (الشك) فى فهم النظام البيئى ........................ ٧٠

أ- تطبيق مبدأ الشك فى ميكانيكا الكم على الأنظمة البيئية ........................ ٧٣

ب- مفهوم الشك ........................ ٧٦






ج- الشك فى النماذج البيئية ........ ٧٧

٤- مراجع مختارة ........ ٨٣

**الفصل الرابع**

**الطاقة فى النظام البيئى** ........ ٩٣

١- انسياب (سريان) الطاقة ........ ٩٥

أ- المستويات الغذائية وإنتاج الطاقة ........ ٩٦

- المحللات ........ ٩٧

- العواشب آكلات النبات واللواحم (آكلات اللحوم) ........ ٩٩

- القورات ........ ٩٩

٢ - السلاسل الغذائية ........ ٩٩

٣ - الشباك الغذائية ........ ١٠١

٤ - الأهرام البيئية ........ ١٠٣

٥ - انسياب الطاقة فى المجتمعات الطبيعية ........ ١٠٦

٦ - الإنتاج الابتدائى ........ ١٠٨

٧ - دور اللافقاريات فى انسياب الطاقة ........ ١١٨

- الحفاظ على اللافقاريات من الانقراض ........ ١٢٣

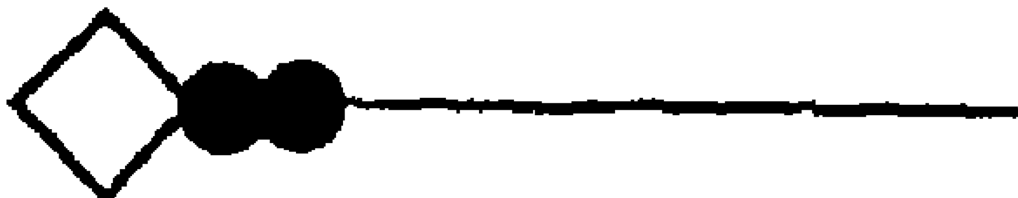
٨ - ديناميكية انسياب الطاقة ........ ١٢٤

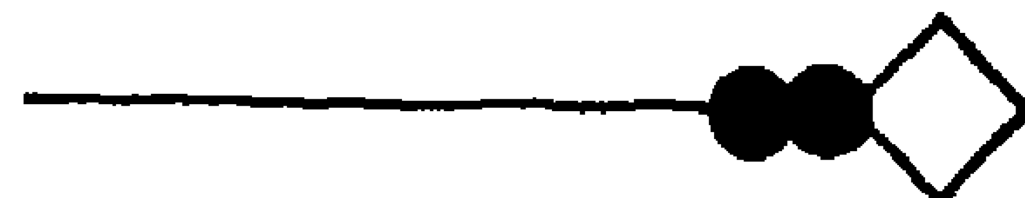
٩ - الديناميكا الحرارية ونظرية النظام البيئى ........ ١٢٩

١٠ - رموز أودام ........ ١٣٧

١١ - أسس دراسة حركة الطاقة فى النظام البيئى ........ ١٣٩

-مراجع مختارة ........ ١٤٢

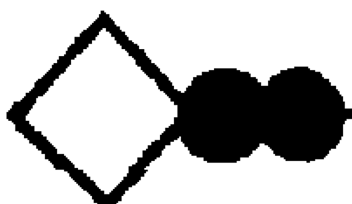


الفصل الخامس

حركة العناصر فى النظام البيئى وتأثر الكرة الأرضية ............... ١٤٧
١- الدورات البيوجيوكيميائية ............... ١٤٩
أ- دورة النتروجين ............... ١٤٩
ب - دورة الفوسفور ............... ١٥٤
ج- دورة الماء ............... ١٥٥
- بذل مصادر المياه ............... ١٥٨
- الماء الجارى ............... ١٥٨
د - دورة الكربون ............... ١٦٠
هـ - تأثير الصوبة النباتية ............... ١٦١
٢ - مصادر وعناصر أخرى تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض ............... ١٦٤
أ- الميثان ............... ١٦٦
ب- أكسيد النيتروز ............... ١٦٦
ج- الأوزون ............... ١٦٧
د- الكلورفلوركربونات ............... ١٦٨
هـ - تغير المناخ ............... ١٦٩
- مراجع مختارة ............... ١٧٥

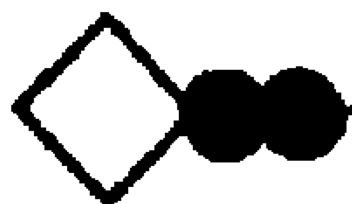
الفصل السادس

وظائف النظام البيئى ............... ١٧٩
١- النظام البيئى كيانات وظيفية ............... ١٨١
٢- الوظائف فى تحليل النظام البيئى ............... ١٨٢
٣- الجوانب البيئية ............... ١٨٢





| الموضـوع | الصفحة |
| --- | --- |
| ٤- الجوانب الاجتماعية والاقتصادية | ١٩٣ |
| ٥- التنمية المستدامة ووظائف النظام البيئى | ١٩٩ |
| - مراجع مختارة | ٢٠١ |
| **الفصل السابع** | |
| **معلوماتية النظام البيئى** | |
| مقدمة | ٢٠٧ |
| ١- مفهوم المعلومات والأنتروبى فى نظرية المعلومات | ٢٠٨ |
| ٢- المعلومات والأنظمة الأحيائية | ٢١٢ |
| ٣- التطبيق المباشر لنظرية المعلومات فى الأنظمة البيئية | ٢١٤ |
| أ- التنوع الأحيائى | ٢١٤ |
| ب- التطور | ٢١٦ |
| - النظرية الكلاسيكية للتطور | ٢١٦ |
| الطفرات الجينية | ٢١٧ |
| الطفرات الصبغية | ٢١٩ |
| ٤- نظرية المعلوماتية والتنوع الأحيائى | ٢٢١ |
| أ - التطور عبارة عن أنتروبى | ٢٢١ |
| ب - نظرية المعلومات والوراثة | ٢٢٦ |
| ٥- أبحاث المعلوماتية والبنية التحتية للمعلومات الأحيائية | ٢٢٩ |
| أ- البنية التحتية للمعلومات البيولوجية | ٢٢٩ |
| ب - أبحاث المعلوماتية البيولوجية والمعلوماتية البيئية | ٢٣٠ |
| ج - تأسيس البنية التحتية المعلوماتية البيولوجية | ٢٣١ |
| - مراجع مختارة | ٢٣٣ |





**الموضـــوع** **الصفحة**


## الفصل الثامن

**النماذج البيئية وصحة النظام البيئى** ........................ ٢٤٥

١- تطبيقات النماذج البيئية فى نمو السكان ........................ ٢٤٧

٢- صحة النظام البيئى ........................ ٢٥٢

٣- تطبيق النظريات والنماذج البيئية لتقييم صحة النظام البيئى ........................ ٢٥٦

أ- نمو مفهوم الصحة من الكائن إلى النظام البيئى ........................ ٢٥٦

ب- تشخيص صحة النظام البيئى ........................ ٢٦٢

٤- نظام نهر النيل ........................ ٢٦٤

- المراجع ........................ ٢٩١

## الفصل التاسع

**الأنظمة البيئية البشرية** ........................ ٢٩٩

١- علم بيئة الإنسان ........................ ٣٠١

٢- مستوى كثافة المتطلبات البشرية على النظام البيئى ........................ ٣٠٥

٣- التغذية الاسترجاعية ........................ ٣٠٦

٤- المجتمعات البشرية والأنظمة التكنولوجية ........................ ٣١٣

٥- بيئة المسطحات ........................ ٣٢٣

٦- المسطحات والمجتمعات العمرانية ........................ ٣٣٠

مراجع مختارة ........................ ٣٥١

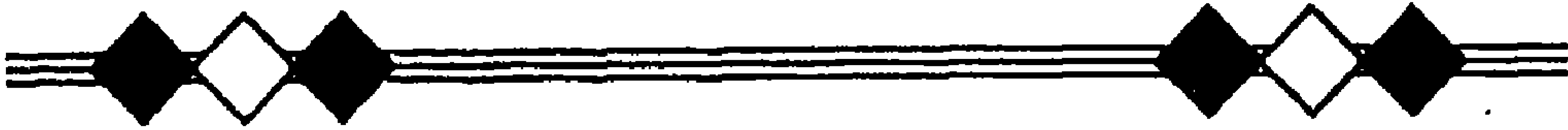
فهرس مصطلحات (Index) ........................ ٣٥٥






# الفصل الأول

## علم البيئة وعلم الأنظمة البيئية



**١- علم البيئة**

أ- علم البيئة والمجتمع

ب - الطرق العلمية

ج - فرض عدم التأثير

د - التجارب

**٢- علم الانظمة البيئية**

أ - لماذا نشأ علم الأنظمة البيئية؟

ب - استمرارية النظام البيئى

**- مراجع مختارة**

### ١- علم البيئة Ecology:

وضع العالم إرنست هيكل لفظ علم البيئة "Ecology" عام ١٨٦٦ ولكن وارمنج هو الذى أوجد هذا العلم Stiling,1996، كما سيأتى لاحقا. وهذه الكلمة مشتقة من كلمتين يونانيتين هما "Oikos" (بيت) و"Logos" وتعنى (علم أو دراسة). وفى تعريف هيكل، هو علم دراسة العلاقات المتبادلة بين الكائن الحى وبيئته. والكائن الحى قد يكون فردا (نبات فى إصيص)، أو آهلة (مجموعة أفراد تنتمى إلى نوع واحد (حقل قمح أو خلية نحل)، أو مجموعات من الآهلات تشارك فى حيز بيئى (غابة من النباتات والحيوانات). ثم اتسع المدى ليضم إلى الكائنات المجتمع الإنسانى الذى يصاحبها ويشاركها الاعتماد على موارد البيئة. وتبقى التفرقة بين علم البيئة بمفهوم هيكل (فرع من العلوم الطبيعية)، وعلوم البيئة التى تشمل المجتمع الإنسانى ومن ثم تتداخل مع علوم الاجتماع والاقتصاد والسياسة. (محمد عبد الفتاح القصاص - اتصال شخصى - Personal Com-munication.

وقد أصبحت كلمة علم البيئة واسعة الانتشار بين الناس نظراً لتزايد معرفة الإنسان بالبيئة واهتمامه بها. ويفسر علم البيئة موضوعات رئيسية متعددة على المستوى العلمى والمستوى الاجتماعى، وعلى سبيل المثال تبذل جماعة الخضر أو حزب الخضر فى ألمانيا جهدا مشكورا فى حماية البيئة، وتحتوى بلدان العالم على مئات من الجمعيات الحكومية وغير الحكومية التى تهتم بالحفاظ على البيئة، وعلم البيئة من وجهة نظر الكثير من الناس يهتم فقط بمشاكل بيئة الإنسان، والبعض يعتقد أن كلمة بيئة تعنى فقط الحفاظ على الحياة مثل الإبقاء على الأنواع المهددة بالانقراض كالحيتان، أو الحفاظ على الغابات، ولكن علوم البيئة لا تعالج فقط مشاكل التلوث البيئى أو حفظ الأنواع بهذه البساطة، إن علوم البيئة ترتبط بالعديد من العلوم الأخرى، حيث يعطى علم البيئة الهيكل العلمى الذى يمكن أن تبنى عليه برامج حفظ الأنواع من الانقراض والحد من مخاطر الأنشطة الزراعية والصناعية، كما يعطى علم البيئة الأسس التى تمكن من الاستغلال الأمثل للموارد الطبيعية بدون إحداث أضرار بيئية على المدى وأسس التنمية الشاملة والمستدامة للمصادر.





إن علم البيئة لا يعتمد على دراسة الأنواع النادرة أو الغريبة فقط، حيث إن بعض الحيوانات والنباتات صغيرة الحجم لها أهمية كبرى فى توازن الأنظمة البيئية واستمرارها فضلا عن أهميتها فى إجراء التجارب البيئية وصياغة الفروض والنظريات، وعلى سبيل المثال يمكن إجراء التجارب البيئية على النباتات الصغيرة أو الحشرات، ولكن من الصعب إجراء التجارب التى تختبر الفرضيات البيئية على الحيتان الزرقاء أو الأسود - مثلا - نظرا لقلة أعداد تلك الحيوانات وطول الفترة الزمنية لدورة حياتها.

يشمل المحيط الحيوى Biosphere على ١,٨طن مترى من الأنسجة الحية وإذا ما وزعت المادة الحية بالتساوى على سطح الكرة الأرضية فسوف تكون أقل سمكا من ١ سم، ولكن الكتلة الحيوية Biomass ليست موزعة بانتظام على سطح الكرة الأرضية ولكنها تبدى تباينا واضحا حيث تتراوح بين ٤٥ كجم/م$^{٢}$ فى الغابات الاستوائية و٠,٠٠٣ كجم / م$^{٢}$ فى المحيطات، ويهتم علم البيئة بشرح هذه البيانات، ويطرح علم البيئة سؤالا مهما: لماذا توجد أنواع معينة من الحيوانات والنباتات فى بيئة معينة ولا توجد فى بيئة أخرى؟ ولماذا تتباين كثافة النوع الواحد فى مناطق انتشاره، وهناك محاور رئيسة لعلم البيئة ومن أهمها علم البيئة الوظيفى Functional Ecology الذى يهتم بدراسة الأهلات Populations كما يبحث أيضا فى موضوعات السلوك والتنافس وعلاقات التطفل والافتراس والتنافس بين الكائنات الحية، أما المجال الآخر من علم البيئة فهو علم البيئة التاريخى Historical Ecology وهذا يعنى دراسة التوزيع العام للكائنات الحية والصفات المشتركة لتلك الكائنات وتأثير حركة بناء القارات والظواهر الفيزيائية الأخرى على تنوع وتوزيع ونشوء وانقراض الكائنات الحية.

### أ- علم البيئة والمجتمع Ecology and Society:

ذكرنا سابقاً أن لفظ علم البيئة يرجع إلى إرنست هيكل، وفى الحقيقة فإن أكثر المؤلفين بما فى ذلك قاموس أوكسفورد Oxford English Dictionary ودائرة المعارف البريطانية Encyclopedia Britannica ينسب صياغة مصطلح «علم البيئة» "Ecology" إلى إرنست هيكل الذى عرف علم البيئة عام ١٨٦٦ على أنه





«الدراسة الشاملة للعلاقة بين الكائن الحى والبيئة»، كما نوهنا سابقًا. وبالرغم من أن هذا التعريف لا يزال مقبولا من المجتمع العلمى حتى الآن، إلا أن ستيلنج (Stiling, 1996) استدرك هذا القول الشائع حيث ذكر أن إيجن وارمنج Eugen Warming (١٨٤١-١٩٢٤) هو الذى أوجد علم البيئة نظرا لبحوثه الرائدة فى هذا المجال والتى أجراها فى البرازيل بالإضافة إلى أنه أول من ألف كتابا فى علم الجغرافيا البيئية (Warming, 1895).

ذكر أودام (Odum, 1997) أن علم البيئة الذى استمد جذوره من علم البيولوجى نما فى السنوات الأخيرة حتى أصبح فرعًا متكاملاً من المعرفة يتكامل مع أو يدمج دراسة الكائنات الحية والبيئية الفيزيائية والمجتمع البشرى.

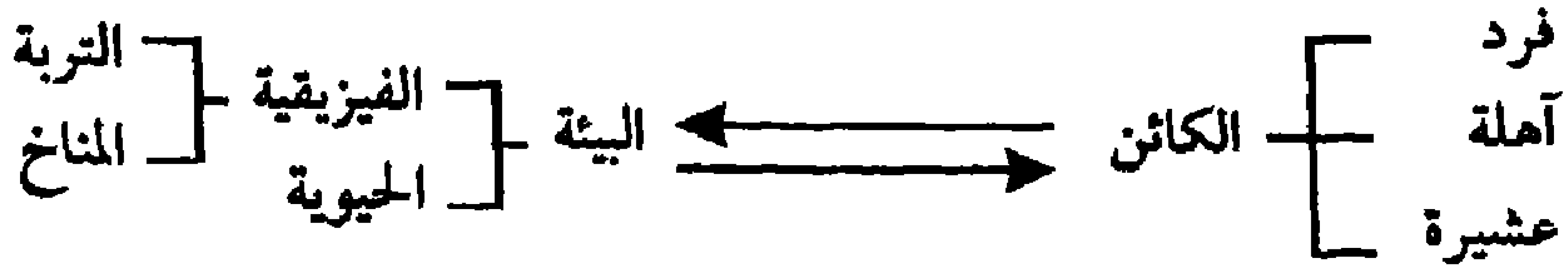
وبعيدا عن تعريف لفظ علم البيئة، فقد أصبح هذا العلم هو الجسر الذى يربط العلم بالمجتمع، حيث ظهرت فى الآونة الأخيرة جمعيات ومؤتمرات ومراجع ودوريات علمية ومهام وظيفية لفروع «بيئية بينية» على سبيل المثال لا الحصر: علم البيئة الاقتصادى (*Bioeconomics*) .Ecology-Economics وعلم حفظ الأنواع (*Conservation Ecology*) Ecology-Wildlife وعلم التنوع البيولوجى (*Biodiversity*) .Ecology- Taxonomy وعلم البستنة البيئية. (*Landscape Ecology*) .Ecology-Geography وعلم سمية البيئة (Ecotoxicology) .Ecology-Chemistry وعلم البيئة الزراعى (*Agroecology*) .Ecology-Agriculture وعلم بيئة الصحراء (*Desert Ecology*) وعلم بيئة البيئات الرطبة (*Wetland Ecology*) وأخيرا فإن أحد العلوم البيئية هو ما يعرف بأخلاقيات البيئة (*Environmental Ethics*) Ecology-Philosophy.

إن علم البيئة ليس مهنة من أخفق فى أن يضيف جديدًا إلى تخصصه الأصلى ولكننا سوف نذكر مقولة أودام (Odum, 1997): حيث ذكر أن المشاكل البيئية الحقيقية تقع فى تلك العلوم البيئية البينية، وعلى من يرغب فى التصدى لإحدى المشكلات البيئية عليه أن يتعمق فى إحدى تلك العلوم البيئية البينية.





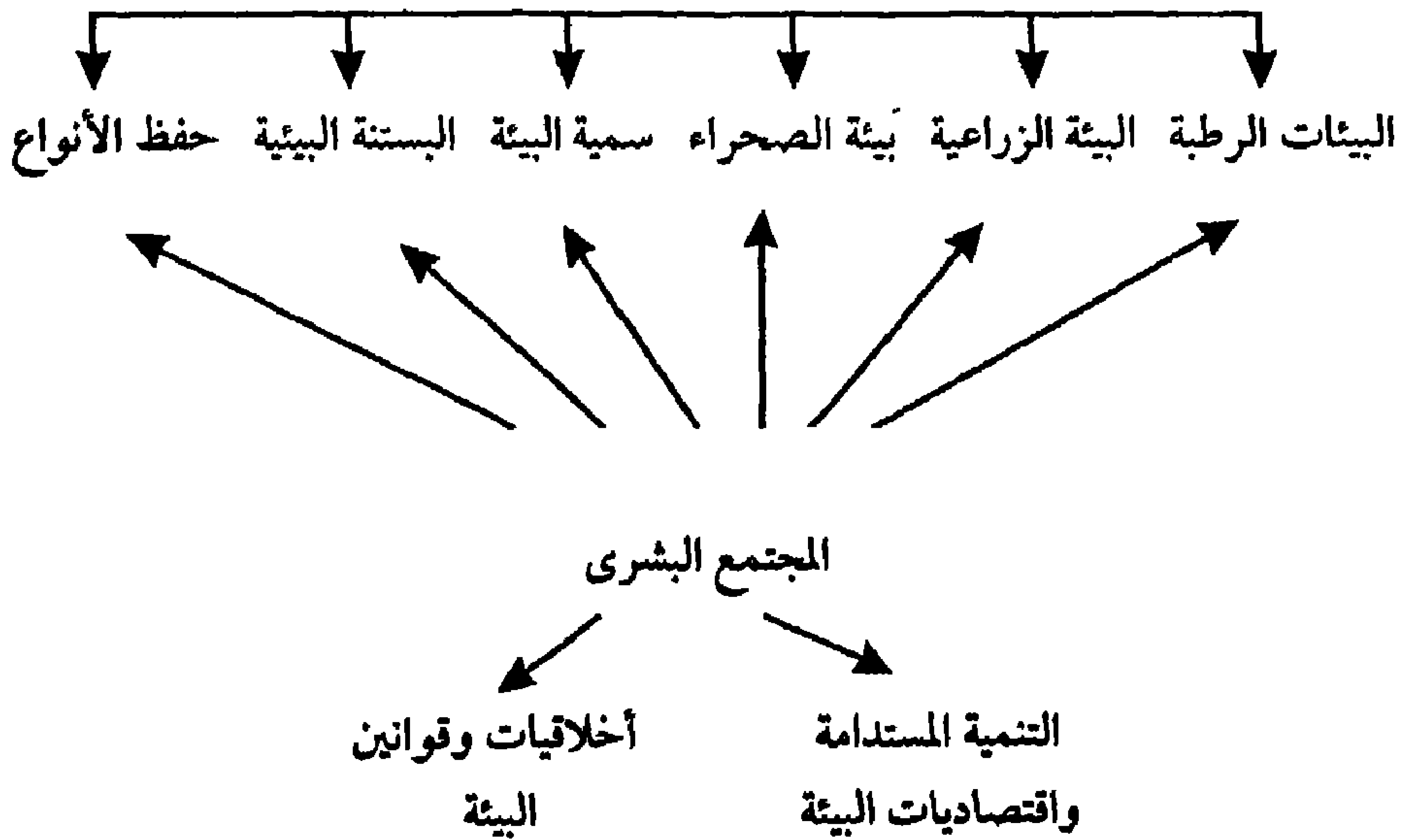
علم البيئة




[عن محمد عبد الفتاح القصاص - اتصال شخصى]

علوم بيئية بينية

أمثلة




شكل (١): علم البيئة والمجتمع

إن علم البيئة يعتبر جسرا بين العلم والمجتمع، ليس فقط لأنه يتكامل مع أفرع أخرى من العلوم التجريبية ولكنه أيضا يرتبط ارتباطا وثيقا بالعلوم الإنسانية(شكل١). ناقش الكاتب الإنجليزى سنو C.P. Snow ضعف التواصل بين العلوم الإنسانية والعلوم التجريبية فى كتابه المعروف «بالثقافتين» The Two Cultures وفى الطبعة الثانية من كتابه (Snow, 1963) افترض ضرورة ظهور **ثقافة ثالثة** Third Culture ويقصد بالثقافة الثالثة فرعا من فروع المعرفة يربط بين العلوم التجريبية والعلوم

الإنسانية وسوف يؤدى ظهور **الثقافة الثالثة** إلى تقليص فجوة التواصل بين العلوم التجريبية والعلوم الإنسانية. أما أودام "Odum" وهو من أقدم علماء البيئة المعاصرين، فيرى أن علم البيئة يمكن اعتباره مرشحا قويا لما يعرف بالثقافة الثالثة، حيث إن علم البيئة يعتبر فرعًا من المعرفة تتكامل فيه الدراسات التجريبية مع العلوم الإنسانية (Odum, 1997).

إننا نتفق مع المؤلف الأخير (Odum, 1997) حيث إن علم البيئة ربما يكون العلم الوحيد الذى أعطاه قاموس "Webster" تعريفين:

**التعريف الأول**: «علم البيئة» هو فرع من علم الأحياء يعالج العلاقات بين الكائنات الحية وبيئاتها.

"**Ecology**": The branch of biology that deals with the relations between organisms and their environment.

**التعريف الثانى**: «علم البيئة فى علم الاجتماع» هو دراسة العلاقة بين انتشار المجتمعات أو المجموعات البشرية بالنسبة إلى الموارد وما يترتب على هذا الانتشار من أنماط اجتماعية وثقافية.

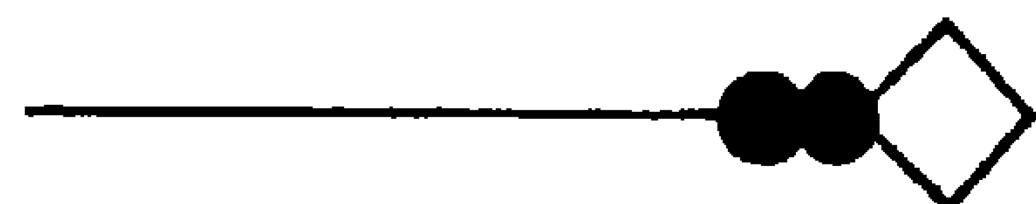
"**Ecology**": In sociology: The relationship between the distribution of human groups with reference to material resources, and the consequent social and cultural patterns.

(Webster's New Twentieth Century Dictionary of the English language, 1979).

**ب- الطرق العلمية Scientific Methods:**

هل من الممكن أن يساعد العلم عموما وعلم البيئة على وجه الخصوص على الحد من فقدان التنوع الحيوى والمشاكل المتعلقة به، وهل يمكن تطبيق هذا العلم فى الحد من الفقر وتدهور البيئة؟ وهل يعطى هذا العلم الأسس العلمية للتنمية المستدامة لموارد كوكب الأرض؟ الإجابة هى: نعم. بالرغم من اعتقاد عامة الناس بأن الأمطار الحمضية والمخلفات السامة وتلوث الماء والهواء والإشعاع الذرى هى





الآثار المترتبة على التقدم العلمى ولا ينظر الناس إلى العلم على أنه «البطل» بل أصبح العلم هو «كبش الفداء» إلا أنه يجب أن نضع نصب أعيننا أن هذه المشاكل هى نتاج الاستعمال الخاطئ للحقائق العلمية. ومن الممكن حل المشاكل البيئية بالطرق العلمية.

إن الطرق العلمية مكتسبة من جوهر الحقائق، وعموما فإن الخطوة الأولى هى الملاحظة الدقيقة ثم إعادة الملاحظة لتحديد تكرار الحدث وتأكيد الحدث من أكثر من باحث، والخطوة التالية هى بناء الفرضيات لشرح وتحليل وتفسير الظواهر التى تم رصدها. ويمكن اختبار الفرض الجيد والتأكد من صحته عن طريق إجراء المزيد من الملاحظة والتجارب. وإذا ما ثبتت صحة الفرض Hypothesis فى الاختبارات والتجارب المتكررة فقد يصل إلى مستوى النظرية Theory أو القانون Law. إن التقدم العلمى لا يعتمد على محاولة تأكيد النظرية بل إنه يعتمد أيضا على محاولة إسقاط بعض النظريات، حيث إنه من الممكن أن نجد بعض الشواهد التى تؤكد أى فرض، إلا أن القليل من النتائج السلبية يكفى لأن يُسقط الفرض تماما. ولكن من سوء الحظ فإن الأبحاث التى تسجل عدم حدوث شىء ما (نتائج سلبية) لا تكون عادة محل ثقة من المجتمع العلمى، وبناء على ذلك فإنه من السهل نشر البحوث التى تؤكد الفروض، أما الأبحاث التى تعطى نتائج سلبية فإنها كما ذكرنا عادة لا تكون محل الثقة.

تبدو الطرق العلمية للشخص العادى - وأحيانا لبعض العلماء - على أنها طرق شكلية تبعث على الملل والضجر، وقد اتفق بعض العلماء على أن بعض الفروض العلمية يمكن استنتاجها بالحس والمنطق الذى نستعمله فى حياتنا اليومية بدون اللجوء إلى الطرق العلمية، وقد رفض العديد من العلماء الرأى الأخير، فبالرغم من أن استنتاج بعض الفروض بالمنطق الذى نستعمله فى حياتنا اليومية وبدون طرق علمية يبدو سهلا، إلا أنه غير صحيح حيث إن الطرق العلمية فى البحث والصياغة العلمية للحقائق سوف تؤدى إلى نتائج أفضل. ومن الناحية العلمية، فإن تقدم العلم يستمر من خلال طرق عديدة، فقد أشار إيزاك نيوتن (Isaac Newton) إلى أن العلماء يتجهون من الجزئيات إلى الكليات، حيث تتم





دراسة الظواهر ورصدها ثم يلى ذلك استنباط نظريات عامة. أما العالم بوبر (Popper) فيرى أن «الخيال» أو التصور يأتى أولاً ثم يليه الفرض ويتبع ذلك إجراء التجارب لاختبار صحة الفرض، ومما لا شك فيه أن كلتا وجهتى النظر أثبتت أهميتها فى البحث العلمى (Popper, 1972).

### جـ - فرض عدم التأثير Null Hypotheses:

إن الفرض فى البحوث البيئية غالبا ما يكون فرض عدم التأثير No effect hypothesis or Null Hypothesis وهذا الفرض يفترض أن النماذج البيئية أو العمليات والظواهر البيئية فى الطبيعة تحدث بالصدفة وليس من خلال تأثير القوى المختلفة فى الطبيعة وقد استعمل هذا الاسم (فرض عدم التأثير- No effect-Null hypothesis) بعض العلماء، وهناك العديد من التحاليل الإحصائية لتحديد هذا الفرض، وبالطبع فإن فرض عدم التأثير ليس هو الفرض الوحيد الذى له فائدة فى أبحاث علم البيئة. فعلى سبيل المثال من الممكن أن يكون لدى الباحث أسباب ليقيم فرضا. فعلى سبيل المثال يمكن للباحث أن يفترض أن نمط انتشار أو توزيع نوعين فى بيئة معينة يرجع إلى التنافس، إلا أن فرض عدم التأثير يعتبر أفضل الفروض من الناحية المنطقية.

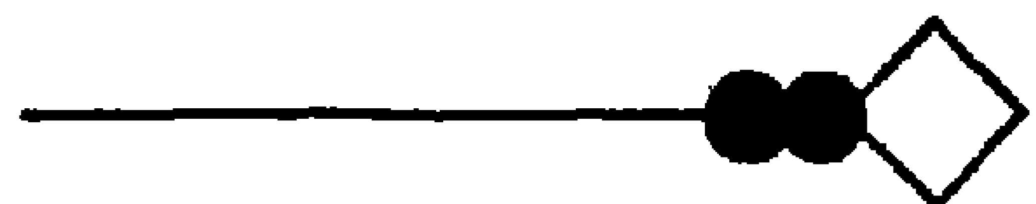
### التساؤلات البيئية Ecological Questions:

افترض العالم سلوبدكن (Slobodkin, 1986) أن أهم التساؤلات فى علوم البيئة والتطور هى:

ما هى الحياة؟، وكيف حدث التطور؟، وما الذى يحدد عدد الأنواع فى بيئة معينة؟ ويرى هذا المؤلف أن أفضل الطرق للإجابة على التساؤلات البيئية هى أن نحدد سؤالا دقيقا، مثل هذا السؤال: كيف يذوب اللحم فى معدة الصقر؟

اتفق بعض العلماء على ضرورة التركيز على دراسة الكائن الحى فى الطبيعة والبحث فى المشاكل البيئية الحقيقية بدلا من تطبيق المعايير الرياضية والفلسفية. مما لا شك فيه أن التعامل مع المشاكل البيئية يحتاج إلى الكثير من البيانات. إن الذين اقترحوا استغلال المصادر مثل سيمون (Simon) استغلوا نقص المعلومات للدفاع





عن وجهة نظرهم فقد ذكروا أن المعلومات المتاحة لا تكفى لأن تثبت أن عملية إزالة الغابات Deforestation تؤدى إلى انخفاض كبير فى عدد الأنواع النباتية والحيوانية (Stiling,1992)، وإليكم مثالا آخر: استعمل دوجلاس هاملتون وباركر (Douglas Hamilton, Parker) نفس البيانات لمناقشة موضوع حفظ الأفيال من الانقراض وصناعة العاج. حيث استنتج (باركر) أن نقص عدد الأفيال ينتج غالبا عن عوامل الموت الطبيعية وأن نقص عدد الأفيال نتيجة الصيد ليس له وجود إلا فى أماكن محدودة، وعلاوة على ذلك فقد ذكر (باركر) أن معدل زيادة صيد الأفيال يرجع إلى تنافس الأفيال مع البشر الذين يتزايد عددهم فى أفريقيا. ولكن دوجلاس لم يتفق مع كل ما ذكره المؤلف الأول باركر، حيث استنتج البحث الأخير (من نفس البيانات) أن المؤلف الأول قد بالغ فى حساب أعداد الأفيال التى تموت بشكل طبيعى، وذكر أن الأفيال تنقرض نتيجة للصيد الجائر فى الكثير من المناطق التى يمكن الوصول إليها بسهولة، بالإضافة إلى أن ارتفاع أسعار العاج يعتبر من أسباب تهديد الأفيال بالانقراض. وعندما نرى مثل هذا التباين فى الاستنتاج الذى يبنى على نفس البيانات فإننا نستطيع أن ندرك أن هناك نقصا كبيرا فى البيانات التى تبنى عليها هذه الدراسات (Pilgram & Western, 1986).

**د - التجارب Experiments:**

يعد إجراء التجارب أفضل طريقة لاختبار صحة الفروض البيئية، وقد فرق دايموند (Diamond, 1986) بين ثلاثة أنواع رئيسة من التجارب وهى: التجارب المعملية - التجارب الحقلية - التجارب الطبيعية (تجارب تصوير البيئة وتجارب المسار الطبيعى - جدول ١) ومن الناحية العملية فإن الأنواع الثلاثة تعتبر سلسلة متصلة، ثم قسم (دايموند) التجارب الطبيعية إلى قسمين هما:

**القسم الأول: تجارب المسار الطبيعى** Natural Trajectory Experiments: وتشمل مقارنة لأحد الأنظمة البيئية أو الأنواع قبل وبعد الاضطرابات الطبيعية مثل العواصف وثورات البراكين ودخول أنواع جديدة إلى البيئة.

**أما القسم الثانى فيشمل ما يمكن تسميته تجارب التصوير الطبيعى أو تصوير البيئة** Natural Snapshot Experiments: حيث إن هذه التجارب تعطى

صورة أو تصورا عن البيئة مثل المقارنة بين المناطق الطبيعية التى تختلف عن بعضها البعض فى صـفات معينة مـثل وجود أو عدم وجود أحـد الأعداء الطبيعـية. وقد لخصنا نقاط القوة والضعف فى الأنـواع الثلاثة من التجارب فى جدول رقم (١). وعلى سبيل المثال نجد أن الظروف المحيطة بالتجـارب المعملية محددة بحجم المعمل ودرجة حـرارته، ويمكن أن تمثل هذه التجـارب البيئـية المحيطة بالمعـمل بما يعادل حوالى ۰,۰۱ من الهكتار. ويتسع مدى التأثيـر البيئى فى التجارب الحقلية Field Experiments لمسافة تقل عن واحد هكتار، أما التجارب الطبيعية فهى غير محددة حيث يتسع حيز التجربة حتى يشمل جزيرة أو قارة.

من الممكن أن تنظم التجـارب المعملية تأثير جـميع العوامل غيـر الحية على الكائن الحى مـثل: الضوء، ودرجـة الحرارة، والرطوبة، والتـغذية. إن التـجارب المعملية تعد ذات قيمة عـالية فى دراسة تأثير مثل هذه العوامل على الكائن الحى. ويمكن أيضا استعمال التجارب المعملية فى دراسة الاستجابة الفسيولوچية للظروف البيئية.

تتميز التجـارب الحقلية بأنها تجرى فى الظروف البيئية الطبيـعية، ومن أشهر هذه التجـارب دراسة تأثير إضـافة أو إزاحة أحـد الأنواع إلى أو من بيئة مـعينة. بالإضافة إلى دراسة بعـض الظواهر فى أقفاص حقلية أو ما يشـبه ذلك، وقد قام داروين بإجراء تجربة حقلية لدراسة تأثير الحصاد والحيوانات آكلة العشب على تنوع النبـات، وليس من المحتـمل أن تعكس التجـارب الحقليـة التى تجرى فى أقـفاص حقلية أو نحوها تأثير الطبيعة بشكل كامل.

إن التقنيـة الوحيدة التى يمكن من خـلالها تتبع المسار الـطبيعى للبيـئة على مدى عشـرات السنين هى تجارب البيئـة الطبيعية، فـقد استطاع .Simberberloff) (1976 أن يدرس اخـتفـاء وإعادة اسـتعـمـار الكائنات الحيـة Defaunation and (Recolonization فى جزيرة مانجروف خـلال عدة سنوات، وفى دراسة أخرى تم تتبع هـذه الظاهرة على مدى أكثـر من مائة عـام فى إحدى الجـزر، ومن الحالات النادرة لتجـارب البيئـة الطبيعـية ما تم فى محطـة روثماستيـد للتجارب الزراعـية بالمملكة المتحـدة، حيث استمرت التـجارب على استعـمال السماد لأكـثر من مائة عام، وقـد بدأت هذه التجارب سنة ١٨٤٣، وتجـدر الإشارة إلى أن تجارب البيـئة

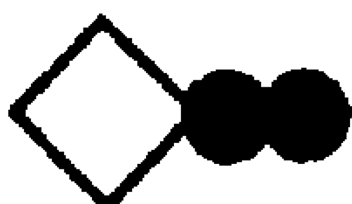


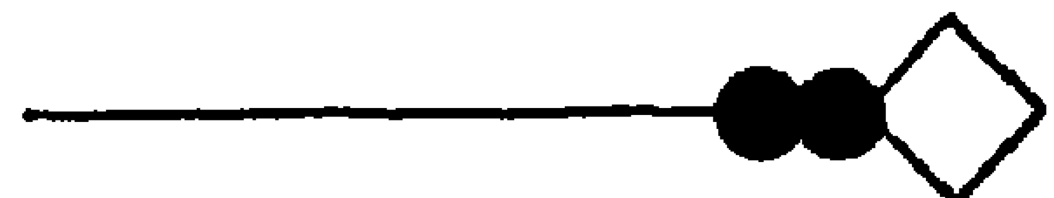


**جدول رقم (١) نقاط القوة والضعف فى الأنواع المختلفة من تجارب علم البيئة**

| معايير المقارنة (Factor) | التجارب المعملية (Laboratory experiment) | التجارب الحقلية (Field experiment) | تجارب المسار الطبيعى (Natural trajectory experiments) | تجارب تصوير البيئة (Natural snapshot experiments) |
|---|---|---|---|---|
| دراسة المتغيرات المستقلة | أفضل النتائج | نتائج متوسطة أو ضعيفة | غير ممكن | غير ممكن |
| توحيد مكان الدراسة | الأفضل | متوسط | متوسط أو ضعيف | الأضعف |
| إمكانية تتبع الظواهر | ممكن | ممكن | ممكن | غير ممكن |
| المدى الزمنى | الأضعف | ضعيف | أعلى | أعلى |
| المدى المكانى | الأقل | قليل | أعلى | أعلى |
| العمومية | غير موجودة | ضعيفة | عالية | عالية |
| الواقعية | ضعيفة | عالية | أعلى | أعلى |
| مجال المعالجة | الأقل | متوسط أو قليل | متوسط أو عال | الأعلى |

الطبيعية التى تعالج موضوعات الجفاف أو الفيضانات تعطى أفضل البيانات عن هذا الموضوع، وعلاوة على ذلك فإن تجارب البيئة الطبيعية تنطوى دائما على نظرة عامة وشاملة على البيئة، حيث يتم جمع العينات والبيانات من مدى جغرافى واسع مما يؤدى إلى ظهور التباين الحقيقى فى الطبيعة. ويمكن تلخيص ما سبق بافتراض أنه لا يمكن تحديد أى نوع من أنواع التجارب البيئية أفضل من الأخرى حيث إن تصميم التجارب يعتمد على موضوع الدراسة.





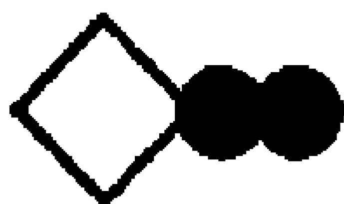
## ٢ - علم الأنظمة البيئية Systems Ecology:

### أ - لماذا نشأ علم الأنظمة البيئية؟

هناك الملايين من أطنان الأسمدة والمبيدات الحشـرية تستخدم سنويا فتتداخل مع الدورات البيوچيـوكيميائية مـثل دورة المياه ودورة النتروچين ودورة الكربون فى الطبـيعـة، وهناك الملايين من أطنان المخلفـات الصناعيـة التى تنبعث فى الـغلاف الجوى لتؤثر على مناخ الكرة الأرضية ـ البيئة تدمر والأنواع تنقرض.

إن هناك اعتقادا شائعا «بأن إنسان مـا قبل الحضارة الصناعية أحدث أضرارًا» أقل للبيئة عن إنسان الحضارة الصناعيـة الحديثة، وهذا الاعتقاد يفترض أن الإنسان الذى كان يجمع غذاءه بالقنص ويحيـا حياة بدائية عاش متوائما مع البيـئة ومتجنبًا استـغلال المصادر الطبيـعية بشكل مدمـر، ولكن الواقع أن هذا ليس صحيـحا فى جميع الأحوال. وعلى سبيل المثال فإن وصول الإنسان لأول مرة على جزر المحيط تبعـه فناء (انقراض) أغلب الحـيوانات الثـديية فى تلك الجـزر. وتذكر المراجع أن إحدى الجزر الشـرقية للمحيط الأطلنطـى كانت مغطاة بأشجار النخـيل والأشجار الكبيرة والشجيرات، وقـد وصل إلى هذه الجزيرة البولينسيون (Polynesians) عام ٤٠٠ بعد الميـلاد وفى عام ١٥٠٠ بعـد الميلاد بلغ تعداد الـسكان حوالى ٧٠٠٠ نسمة، وقـد أزال سكان الجزيرة جميع الأشـجار وانقرضت جمـيع الأنواع المميزة للجزيرة، وبعد إزالة الأشجار لم تعد هناك أشجار لعمل الزوارق ومن ثم تقلصت عمليات الصيد، وبزيادة عـدد السكان بدأ الصراع الشرس بين السكان على مصادر الغذاء، وظهر سلوك أكل لحم البـشر والاستعبـاد بين سكان المدينة وأصبح السكان يصنعون الرماح والحراب بكميات كبيرة (Stiling,1992).

لقد اتسعت دائرة تدمير البيئة حـتى شملت جميع القارات وعلى سبيل المثال توجد آثار لقرى مهجورة كان يقطنهـا الهنود الحمر فى صحراء الجنوب الغربى من الولايات المتـحدة الأمريكيـة وكانت هذه المنطقـة مكسوة بالأشـجار من الفـصيلة الصنوبرية، وبتكرار جـمع هذه الأشجار لاستـخدامهـا للبناء أو كمصـدر للوقود خلت المنطقة من الأشجار وانحصرت أشـجار الصنوبر فى منطقة لا يتجاوز قطرها ٤٠-٧٠ كم.





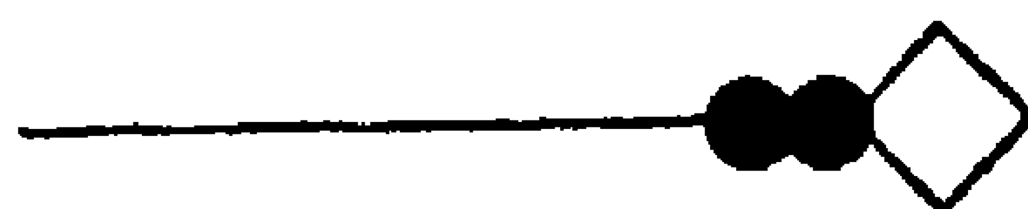
إننا ببساطة لا نملك الحق فى تدمير الأنواع والبيئة، ولكن الواقع أن تدمير البيئة اتسع نطاقه ليشمل جميع قارات العالم كما ذكرنا سابقا. وعلى سبيل المثال تذكر بعض التقارير الأمريكية أن هناك حوالى ٩٥ مليون مواطن أمريكى يتعاملون مع الحياة البرية من خلال الفحص والتصوير والمشاهدة. . .إلخ بالإضافة إلى ٤٥ مليون فرد يقوم بصيد الأسماك.و١٩ مليون فرد يقوم بالصيد البرى كل عام، وينفق الشعب الأمريكى الملايين من الدولارات سنويا على مثل هذه الأنشطة، وقد أدت عمليات الصيد إلى فناء حوالى ٩٠ نوعا من الحيوانات فى شمال الولايات المتحدة الأمريكية. وعلى صعيد آخر فقد حرقت آبار البترول عمدا فى حرب الخليج، هذا بالإضافة إلى النفايات النووية التى تحاول الدول المتقدمة التخلص منها والنفايات التى تنبعث من عمليات الصناعة ومخلفات الأسمدة والمخصبات الزراعية التى يستعمل العالم منها ملايين الأطنان سنويًا.

إن تسرب الأشعة الذى حدث فى تشيرنوبل قد لا يكون الأول من نوعه ولن يكون الأخير، وربما تكون هناك حوادث مشابهة قد تبعت أو سبقت ذلك الحدث فى أماكن أخرى من العالم ولم يعلن عنها. إن آخر ما نذكره أن الجهل والفقر وشدة التخلف كانت وراء إلقاء الآلاف من جثث البشر فى بحيرات منابع نهر النيل - ذلك النهر الذى صنع أول حضارات العالم.

كل ما ذكرناه كان مقدمة طبيعية لظهور وتنامى أبحاث علم الأنظمة البيئية، ذلك العلم الذى يحاول البحث فى بيئة الكرة الأرضية من خلال نظرة شمولية تتكامل من خلالها المتطلبات البشرية مع الحفاظ على الأنظمة البيئية على المدى البعيد حتى تصبح بيئة صالحة لكل مظاهر الحياة للأجيال القادمة من البشر وكل صور الحياة والمخلوقات التى أودعها الله أمانة بين أيدينا.

**ب- استمرارية النظام البيئى:**

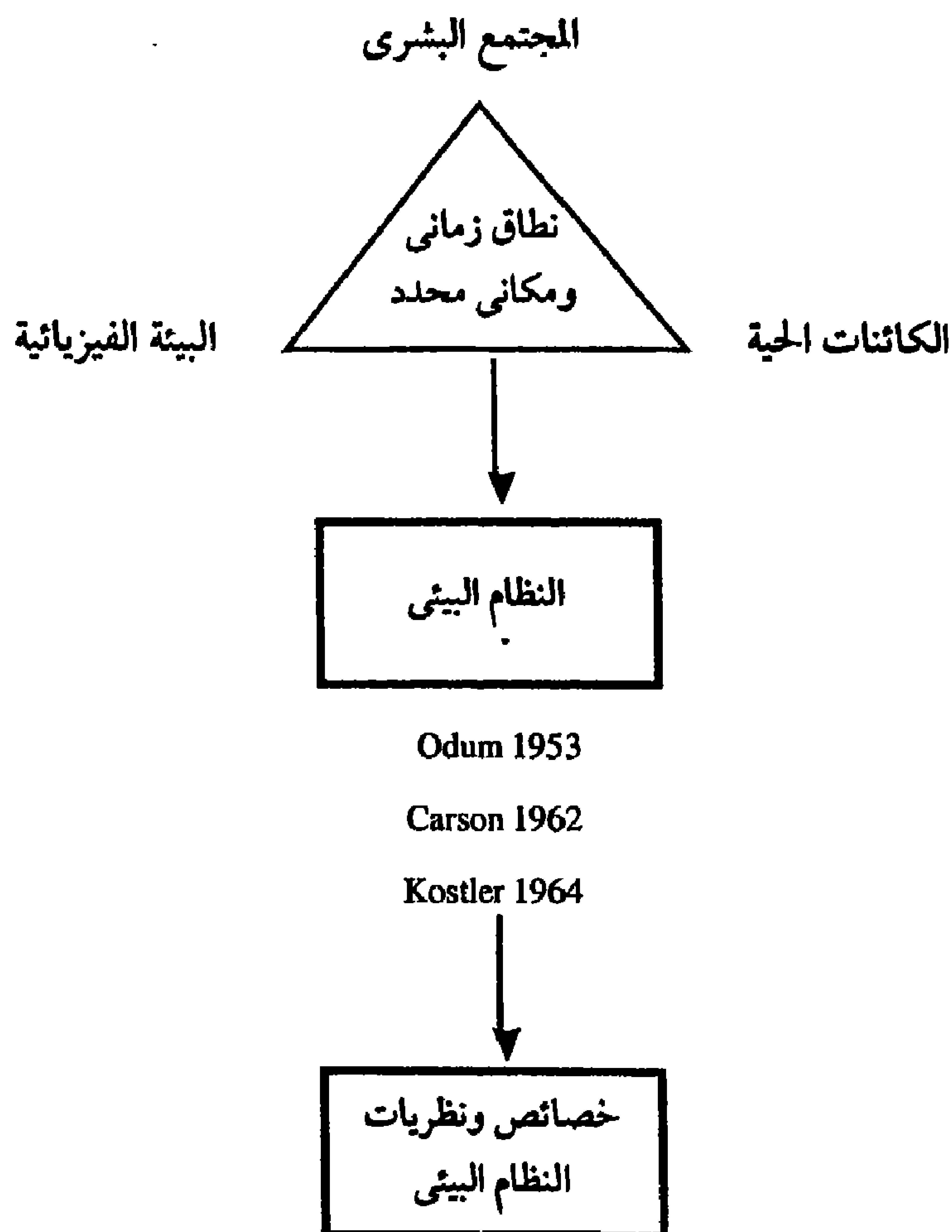
لقد شهدت العقود الأربعة الأخيرة اهتماما متزايدا بنظرية النظام البيئى كنتيجة طبيعية لاهتمام العالم بقضايا البيئة. وقد احتوت المراجع البيئية الصادرة فى تلك الفترة على الكثير من الأبحاث التى تركز على أنظمة البيئة أو فى عبارة أخرى المنظومات البيئية Systems Ecology وصفات تلك المنظومات، وقد حاول العديد





من العلماء الإجابة على هذا السؤال كيف يستمر النظام البيئى «كنظام» له خواص وصفات معينة تدفعه على الاستمرار التلقائى؟

لقد ظهرت العديد من النظريات التى تحاول تفسير الاستمرار التلقائى للأنظمة البيئية خلال العشرين عاما الأخيرة، وسوف نحاول قدر المستطاع إعطاء الشرح والتحليل لبعض تلك النظريات حتى يمكن للقارئ المقارنة بين تلك النظريات. إن النظام البيئى غاية فى التعقيد، ومن ثم فإنه ليس من الغريب أن تختلف وجهات النظر التى تشرح وجود واستمرار هذا النظام.




شكل (٢): نمو علم الأنظمة البيئية ويوضح الشكل أن الأعمال المقدمة من ثلاثة باحثين كانت من أهم عوامل تنامى هذا العلم فى ستينيات القرن الماضى

بدأت دراسة الأنظمة البيئية فى الخمسينيات من القرن الماضى وكان للعالم Odum فضل فى وضع أسس هذا العلم (راجع Odum, 1953)، ولكن البداية الحقيقية لهذا العلم كانت فى منتصف الستينيات عند ظهور أول جمعية علمية متخصصة فى هذا العلم حيث بدأت نظرية النظام البيئى فى النمو بعد ظهور كتاب الربيع الصامت The silent spring (Carson, 1962) وكتاب الشبح فى الآلة The Ghost in the machine (Kostler, 1967) (شكل ٢).

تتجه المدارس العلمية الحديثة إلى ما يعرف بالنظرة الشمولية Holistic إلى النظام البيئى، والنظرة الشمولية تعنى ببساطة أن النظام البيئى ليس ككل يساوى مجموع مكوناته بل هو أكثر من مجرد محصلة تلك المكونات والسبب فى ذلك أن علماء الأنظمة البيئية يرغبون فى فهم تأثيرات البشر على الطبيعة وكيفية تفاعل الطبيعة تجاه تلك التأثيرات، وبناء على ذلك فإن طرق البحث الاختزالية Reductionistic Methods والتى تهتم بدراسة ظاهرة واحدة أو مجموعة من الظواهر فقط فى النظام البيئى لم تعد مجدية فى حل المشاكل البيئية، ويعزى هذا إلى سببين:

**أولا:** التأثيرات غير المتوقعة والتى يمكن أن تحدث عبر الزمان أو المكان نتيجة الارتباطات المعقدة والمتشابكة بين عناصر النظام البيئى، وتلك التأثيرات لا يمكن التنبؤ بها ببساطة، هذا بالإضافة إلى إمكانية حدوث بعض الظواهر النادرة فى الطبيعة بشكل تلقائى.

**ثانيا:** الأنظمة البيئية كيانات شديدة التعقيد، ومن ثم فإنه من المستحيل تحليلها ومعرفة كافة التفاصيل الخاصة باستمراريتها وتغيراتها إلا من خلال رؤية أكثر شمولية.

ومما تقدم نستطيع إدراك أنه لا يمكننا فهم الكل بمجرد إضافة كل ما أدركناه عن مكونات هذا الكل وسوف نعطى فى هذا الكتاب فكرة موجزة عن مدى تعقيد الأنظمة البيئية، ذلك التعقيد الذى أدى فى بداية التسعينيات إلى إدخال مبدأ الشك أو الريبة فى النماذج والنظريات البيئية. هذا بالإضافة إلى أن توازن وسريان الطاقة فى الأنظمة البيئية يعتبران من الركائز الأساسية فى النظريات الحديثة فى النظام

البيـئى، ومن ثم فقـد أعطينا شرحـا مبسطا عن تطـبيق القانون الأول للديـناميكا الحرارية على الأنظمة البيئـية، كما قدمنا مناقشة موجزة لمفهـوم صحة النظام البيئى من منظور النظريات الحديثـة للنظام البيئى. وأخـيرا فقد تعـرضنا لبعض النظريات الحديثة فى شرح النظام البيئى ومن بينهـا التسلسل الهرمى فى النظام البيئى ونظرية المعلومات فى النظام البيئى.

* * *

## ٢- مراجع مختارة:


**Carson, R. 1962**. Silent Spring, New *American library*, U.S.A.

**Diamond, J. 1986**. Overview: Laboratory experiments, field experiments and natural experiments: In J. Diamond and T. J. Case (eds): *Community Ecology*, PP, 3-22. Harper & Row, New York.

**Kostler, A. 1967**. The Ghost in the Machine, *Macmillan*, New York.

**Mahoney, M. J. 1977**. Puplication prejudices: *Cognitive therapy and Research* 1: 161-175.

**Odum, E. P. 1953**. Fundamentals of Ecology. *Saunders, Phladilphia*, P. A.

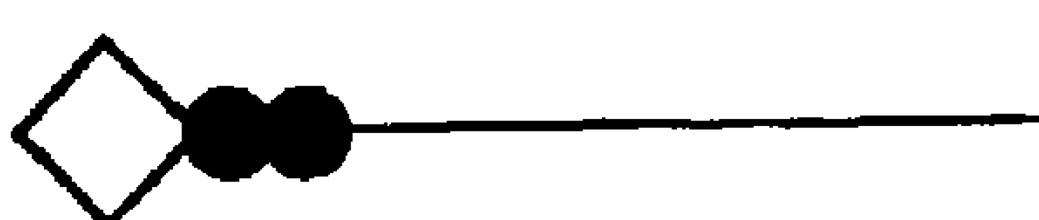
**Odum, E.P. 1997**. Ecology: A bridge between Science and Society. Sinaur Associates. Inc.

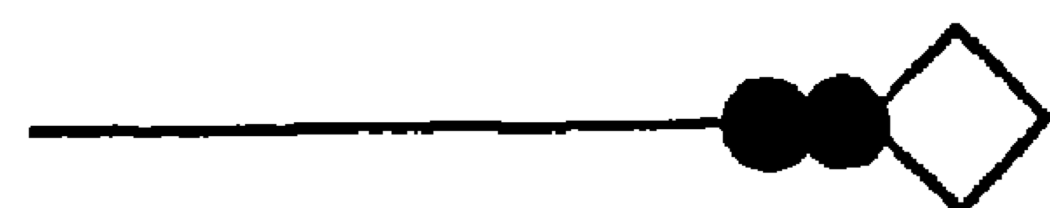
**Pilgram, T. and D Western. 1986**. Inferring hunting patterns on African elephants from tusks in the international Ivory trade. *Journal of Applied Ecology* 23:503-514.

**Popper, K.R. 1972**. The logic of Scientific discovery. 3rd edition *Hutchinson*, U. K.

**Simberloff, D. 1976**. Experimental Zoogeography of islands: Effects of island size. *Ecology* : 57: 629-648.

**Slobodkin, L. B. 1986**. Natural Philosophy rampant. *Paleobiology* 12: 111-118.



**Snow, C. P. 1963**. The two cultures. A second look. *Cambridge Univ.* Press., U. K.

**Stiling, P. 1992**. Introductory Ecology, *Prentice Hall.*, USA

**Stiling, P. 1996**. Ecology: Theories and Applications. *Prentice Hall*, USA

**Warming, J. E. B. 1895**. Plantesamfund. Grundraek af den okologiske plantegograft. *Philipsen, kkobenhaven* Denmark.

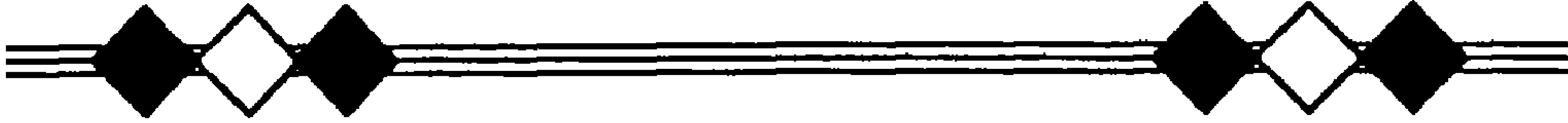
* * *





# الفصل الثانى

## التركيب والتسلسل فى النظام البيئى



**١- تركيب النظام البيئى:**

أ- طبيعة الكيانات فى علم البيئة.

ب - الحدود.

**٢- التسلسل الهرمى فى النظام البيئى.**

أ- تاريخ نمو مفهوم التسلسل فى النظام البيئى.

ب- المعلومات ونظرية التسلسل الهرمى.

ج - الهولون.

د - تطبيق نظرية التسلسل الهرمى فى علم البيئة.

هـ - التسلسل المكانى (الفراغى) للتركيبات والنسب فى الأنظمة البيئية.

و - التسلسل «المكانى - الزمانى» للوظائف.

**- مراجع مختارة**

## ١ - تركيب النظام البيئى Ecosystem Structure:

لفظ تركيب Structure يدل على مكونات الشيء، وتهتم العلوم الطبيعية بمكونات الأشياء والأنظمة الطبيعية لأن تلك المكونات تمدنا بالمعلومات الأساسية اللازمة لدراسة وظائف المكونات ودور كل منها فى النظام أو الشيء المطلوب دراسته.

تحتاج الدراسات البيئية المتكاملة إلى دراسة تركيب ووظيفة Structure and Function الكيانات المختلفة فى النظام البيئى، ولتوضيح ذلك نذكر أن علوم الحياة بدأت بدراسة الشكل والتركيب للكائنات الحية، وتلى ذلك دراسة العمليات الفسيولوچية والوظائف المختلفة للأعضاء التى حظيت بفهم تركيبها الشكلى.

لقد بدأ تاريخ علم الحياة بإعطاء أسماء للأنواع المختلفة من الكائنات الحية ودراسة تركيبها المورفولوچى والتشريحى وتقدم العلم بعد ذلك بدراسة وظائف التراكيب والأعضاء المختلفة للكائنات الحية.

وتتطلب دراسة النظام البيئى معرفة تركيبه، وهذا يعنى بالضرورة معرفة كل مكونات النظام البيئى ويلى ذلك دراسة وظيفة كل مكون فى الحفاظ على نظام بيئى مستمر بشكل تلقائى، ويجب هنا أن نشير إلى عبارة هامة صاغها علماء البيولوچى الرواد فى بداية القرن الماضى وهى أن «التركيب بصفة عامة تكيف لوظيفة معينة» "The structure is generally an adaptation to a function"، وربما تشير كلمة تركيب Structure فى علوم الهندسة البيئية إلى نفس مفهومها فى علوم الهندسة المدنية.

ولكن العالم الطبيعى يختلف بالقطع عن المنشآت المدنية، فكلمة تركيب فى العالم الطبيعى أو النظام البيئى تشير إلى كيانات أو تراكيب نشأت كمحصلة ونتيجة للتفاعل المستمر بين العمليات الوراثية فى الكائن الحى وقوى الانتخاب الطبيعى، حيث إن تركيب الكائن الحى يتغير طبقا لتغير الظروف البيئية المحيطة وبذلك يضمن لنفسه البقاء والاستمرار.

إن تأقلم وتكيف الكائنات الحية، والتى تعتبر جزءا من تركيب النظام البيئى، هذا التكيف أو التغير التدريجى مع التغيرات الفيزيائية قد يعنى أيضا بعض المرونة فى تركيب الكائن الحى حتى يتمكن من مواجهة التغيرات الفيزيائية مع ضرورة وجود ثبات نسبى فى تركيب الكائن الحى.

وسوف أناقش هنا تركيب الأنظمة البيئية، ولكن مع اعتبار أن النظام البيئى ككل «كيان واحد».

### أ - طبيعة الكيانات فى علم البيئة Nature of Entities in Ecology:

يمكن تعريف الكيان على أنه «شيء مدرك بالحواس وله حدود زمانية ومكانية وترابط مكوناته ترابطًا منطقيًا، وذكر (Golley and Killer, 1998) أن كلمة «حد» أو «حدود» لا تتضمن معنى انغلاق، فالأنظمة البيئية أنظمة مفتوحة تنساب منها وإليها المادة والطاقة والمعلومات.

ويعتبر فريدرك فير Freddrick Ferré أحد الفلاسفة القلائل الذين حاولوا التعرف على صفات ما وراء الطبيعة أو الصفات «الميتافيزيقية» "Metaphysical" للكيانات البيئية، وقد قدم ذلك الفيلسوف (Ferré, 1996) تعريفا لستة أشكال من الكيانات فيما يخص علم البيئة أو النظام البيئى، وتلك الكيانات هى:

#### ١ - كيانات كلية أو إجمالية Aggregate Entities:

مثل الجبال والبحيرات والأجسام الفيزيائية الأخرى وهى كيانات لها حدود، ويعتمد إدراكنا لتلك الكيانات على معلوماتنا التى تضاف إليها وتلك الكيانات تكون الخلفية البيئية لمنظومات النظام البيئى.

#### ٢ - كيانات نظامية "Systematic Entities":

وتشتمل تلك الكيانات على الأنظمة البيئة واستخدام لفظ نظام "System" فى كلمة الأنظمة البيئية "Ecosystems" يعطى دلالة على أن تلك الأنظمة تحتفظ بتركيبها ووظائفها فى ظل المتغيرات البيئية.





٣ - كيانات منهجية ـ شكلية "Formal Entities":

وهى كيانات تعتـمد على معارفنا التى تضاف إليها؛ وعلى سـبيل المثال فإن مفهوم النوع "species" البيولوچى هو كيان منهجى.

٤ - كيانات عضوية "Organic Entities":

تعتبر الكائنات الحـية كيانات عضوية، والكيان العضـوى هو فى النهاية كيان يتضمن صفات وراثية تمدنا بأشكال جديدة للحياة.

٥ - كيانات توليفية "Compound Entities":

تتسم تلك الكيانات بوجود عـلاقات داخلية قوية بدون نظام ديناميكى داخلى يمكن أن يظهر، ويعتبر الماء أو الملح ـ كلوريد الصوديوم ـ أمثلة لتلك الكيانات.

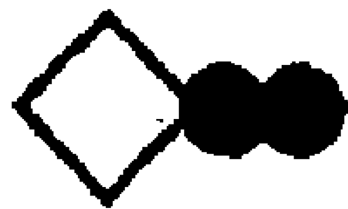
٦ - كيانات أولية ـ جوهرية "Fundamental Entities":

وهى كـيانات، ربما تكون ذات أهمـيـة قليلة بالنسبـة لعلم البيئـة، وتلك الكيانات يمكن أن تنفصل عن تفسيراتنا حيث إنها أبعد من مشاهدتنا، وبالرغم من ذلك فـهى واقعـة. إن علماء البـيئـة يتعـرفون على الكيـانات المحددة مـن خلال المشاهدات المحسوسة مثل النوع أو الكائن الحى، بالإضافة إلى الكيانات الأكبر التى يمكن تحديدها من خـلال إضافة المعارف إلى نتـائج التجارب مثل النظام الـبيئى، والكيانات الجـوهرية أو الأولية تقع بين هذين الشكلين من الكيانات، وأخـير تجدر الإشارة إلى أن دراسة تركـيب النظام البيئى يمكن أن تعطى تعريفًا واضـحًا لمفهوم «الكيان» فى النظام البيئى.

ب - الحدود Boundaries:

ينطوى لفظ «كيان» "Entity" بداهة على شيء محـدود، ومن ثم فإن الحد "Boundary" هو إطار الكيان وهو الذى يحول الكيـان إلى واقع محسوس، ولكن الحدود فى النظام البيئى تتسم بالنفاذية، حيث تنساب المعلومات والطاقة والمواد من وإلى النظام البيئى خلال حدود ذلك النظام.

وإذا بدأنا بالكيـان البشـرى، فسـوف نجد أن الإنسـان كائن حى له حـدود متعددة، وأولها أن الجسم البشرى محاط بطبقة الجلد التى تحدد أبعاده بالإضافة إلى





وجود أعضاء داخلية مثل الرئتين والأعضاء التناسلية الداخلية والقناة الهضمية، وتلك التراكيب يمكن اعتبارها حدودا للحماية وضبطا لمعدلات وخصائص انسياب الطاقة والمواد من وإلى الجسم البشرى. أما ما يحيط بنا فيمكن أن نشعر به من خلال «حدود» معينة لحواسنا البشرية، وعلى سبيل المثال يمكننا أن نسمع أشياء أبعد من نطاق رؤيتنا بالعين، وأخيرا فإن حدودنا البشرية تمتد لتتواصل مع المجتمع بأكمله من خلال تواصل الإنسان مع بيئته وأفراد نوعه.

ولنعد إلى محاولة إيجاد حدود للنظام البيئى مرة أخرى، فنجد أن بعض الأنظمة البيئية لها حدود واضحة مثل البحيرات المغلقة، ولكن فى الكثير من الأنظمة البيئية يصعب تحديد «حدود» للنظام، وأخيرا فإنه يمكن التوصل إلى أن حدود النظام البيئى هى مناطق تغير معدلات واتجاهات انسياب الطاقة وتلك الحدود من الصعب تمييزها، ويمكن القول بأن حدود النظام البيئى هى خاصية تميزه ككيان قائم ولكنها ليست محصلة حدود مكوناته، يهتم علم المسطحات البيئية "Landscape Ecology" بحدود الأنظمة البيئية وكما أسلفنا الذكر فإن الحدود للنظام البيئى هى أطر تقديرية يتغير عندها معدل الانسياب من نظام إلى النظام المجاور مثل الحدود بين النظام البيئى الزراعى والنظام البيئى الطبيعى المجاور له مع الأخذ فى الاعتبار أن حدود النظام البيئى ديناميكية ودائمة التغير (Golley, 2000).

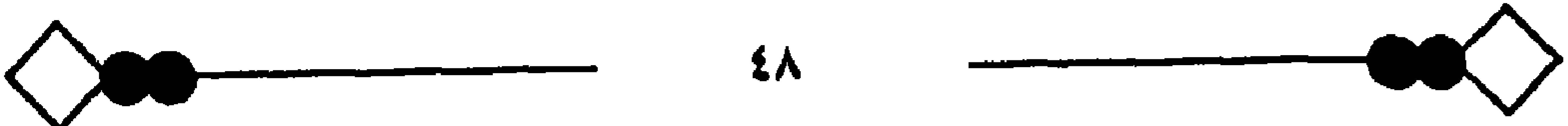
وهناك العديد من المراجع التى ناقشت تركيب النظام البيئى ومن بينها

(Hannon, 1973; Allen and Starr, 1982; Capra, 1996).

## ٢ - التسلسل الهرمى فى النظام البيئى:

تعتبر الطبقية أو التسلسل الهرمى Hierarchy من أهم خصائص النظام البيئى، ويصف بعض العلماء النظام البيئى بأنه نظام طبقى أو فى عبارة أخرى تنتظم عناصر النظام البيئى فى مستويات تصاعدية تبدأ من الخلية (المستوى الأول) وتنتهى بالغلاف الحيوى (البيوسفير Biosphere).

بدأ نمو مفهوم التسلسل الهرمى أو الطبقية كأداة لوصف النظام البيئى فى الستينيات والسبعينيات من القرن الماضى، ولكن التسلسل الهرمى (الوظيفى) يعتبر من الأشياء المعروفة فى المجتمعات البشرية وعلوم الاجتماع منذ عهد بعيد.

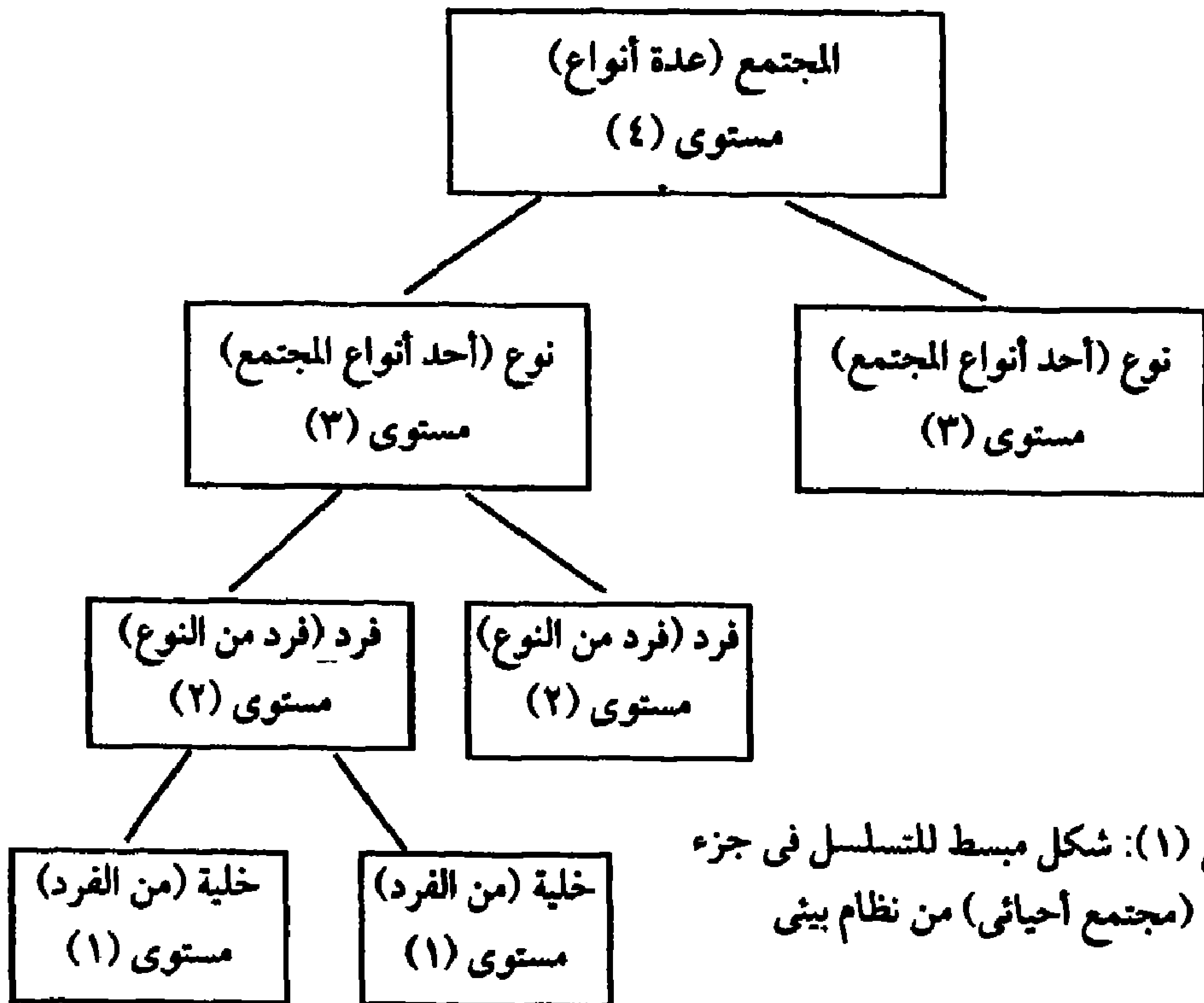


إن الأنظمة البيئية، كما هو معـروف أنظمة ذاتية التنظيم، وتتغير بصورة غير خطية، ولشدة تعقيد تلك الأنظمة، فمن الصعب وضع طرق لوصف تلك الأنظمة بشكل تفصيلى، وقد وضعت نظريات التسلسل الهرمى فى النظام البيئى للمساعدة على فهم وإدارة الأنظمة البيئية (Hari & Muller, 2000)

### أ - تاريخ نمو مفهوم التسلسل فى النظام البيئى:

**Historical Development of Hierarchial Concept in Ecosystems:**

إن لفظ التسلسل الهرمى أو الطبـقية Hierarchy يشير إلى ترتـيب تصاعدى رأسى للسلطة فى المـنظمات البـشـرية (Simon, 1973). وعند تطبـيق مـفـهـوم التصاعدية فى الأنظمة البـيئية، فإنه يشير إلى كيان يحتـوى على كيان أصغر منه، والكيان الأخـير يحـتوى بدوره على كيـان أصغر منه... وهكـذا حتى نصل إلى أصغر الكيانات التى من الصـعب أو حتى المستحيل أن تحتوى على كـيانات أصغر منها. ولكن التسلـسل الهرمى فى الأنظمة البيئـية لا يسير فى خط مسـتقيم ولكنه يتفرع كالشجرة، فكل مستوى يتفرع إلى كيانات أصغر وأصغر كما فى شكل (١).




شكل (١): شكل مبسط للتسلسل فى جزء (مجتمع أحيائى) من نظام بيئى

وقد بدأ تطبيق نظرية الهرمية أو التسلسل فى شرح ظواهر وعلاقات النظام فى بداية الثمانينيات من القرن الماضى (Allen and Starr. 1982)، وتبع المؤلفين السابقين العديد من الباحثين فى استغلال فكرة التسلسل أو الطبقية فى شرح نظريات النظام البيئى ومن أمثلتهم (Salthe, 1985; O'Neil et al., 1986; Allen and Hoekstra, 1992; Muller, 1992; Klijin, 1997)

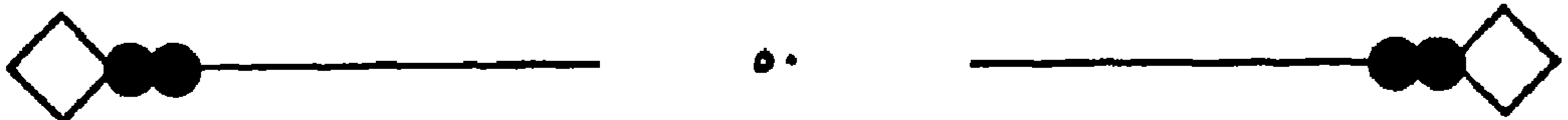
وكما ذكرنا سابقا، فإن التسلسل الهرمى يعرف على أنه ترتيب تصاعدى رأسى فى التركيب أو الحجم أو التنظيم... إلخ، وهذا يعنى أن كل كيان أو نظام من مشتملات النظام البيئى يشتمل على كيانات أقل منه فى الوظيفة أو التركيب أو التأثير، وتطلق على الأنظمة أو الكيانات الأصغر تحت أنظمة Subsystems.

وكما أشار كوستلر (Kostler, 1970)، فإن كل «تحت نظام» يعتبر أعلى مرتبة فى التسلسل الهرمى من «تحت نظام» أصغر منه. وتتفاعل «تحت الأنظمة» أو المستويات المعطاة شكل (١) بطريقتين إما بشكل أفقى حيث تتفاعل عناصر مستوى معين مع بعضها البعض مثل تفاعل أفراد النوع الواحد (شكل «١»، مستوى «٢») مع بعضها البعض أو بشكل رأسى مثل تفاعل أفراد النوع مع المجتمع (شكل «١» مستوى «٣») أو خلية مع مكونات جسم الفرد (شكل «١»، مستوى «١»).

**ب - المعلومات ونظرية التسلسل الهرمى:**

**Information and The Theory of Hierarchy:**

هناك علاقات تفاعل بين المستويات المختلفة فى الأنظمة البيئية، ويمكن النظر إلى تلك العلاقات على أنها انتقال إشارات بين المستويات المختلفة أو انسياب للمعلومات أو الطاقة أو المواد بين المستويات المختلفة فى تسلسل النظام البيئى. وعند انتقال المعلومة أو الإشارة من تحت نظام إلى تحت نظام أقل منه فإنه يتم ترشيح Filtration تلك الإشارة قبل أن تترجم لرسالة يتفاعل معها المستوى التالى. ومن أمثلة ذلك التغيرات المتاحة فى درجة حرارة الغلاف الجوى حيث تلطف (تنظم) عند وصولها إلى جلد الكائن الحى (الثدييات والطيور) قبل اختراق جسده، كما أن تلك التغيرات تصبح أقل حدة عند وصولها إلى طبقات التربة العليا، ومن هنا فإن الكائن الحى والتربة فى المثال السابق يرشح الإشارة أو المعلومة (درجة



الحرارة) وينظم مدخلات الطاقة لضبط وخفض كم الطاقة بسرعة تتناسب مع وقع التغيرات الخارجية على الكائن الحى. ولكن يجب ملاحظة أن المستوى الذى يتلقى الإشارة أو المعلومة يجب أن يتعامل معها ثم يتولى عملية الترشيح أو الضبط قبل إرسال المعلومة أو الإشارة إلى المستوى الأدنى منه.

ومن خصائص التسلسل الهرمى فى النظام البيئى أن كل مستوى له معدلات مختلفة فى استقبال المعلومة أو الإشارة، ومن ثم الاستجابة لها، حيث إن استجابة المستويات الأعلى أبطأ من المستويات الأقل (مثل تأثر الغلاف الجوى ككل بالملوثات الذى يكون أبطأ من تأثير منطقة معينة)، أضف إلى ذلك أن المستويات الأعلى هى المهيمنة والمسيطرة على المستويات الأدنى، ويمكن تشبيه ذلك بالصندوق الكبير الذى يحتوى على صندوق أصغر والصندوق الأصغر يحتوى على صندوق أصغر منه... وهكذا حتى نصل إلى أقل وحدة ممكنة، فالصندوق الأكبر (المستوى الأعلى للتسلسل الهرمى فى النظام البيئى) يحد من حركة الصندوق التالى... وهكذا حيث إن درجات الحرية ووصول المعلومة والإشارة يتم السيطرة عليها من أعلى إلى أسفل فى النظام البيئى. ومن هنا ظهر مفهوم المعوقات. Concept of Constrains الذى أشار إليه (O'Neill et al. 1989) حيث إن المستويات الأعلى تمثل المقاومة البيئية Environmental Resistance والمستويات الأدنى تمثل الجهد الإحيائى Biotic Potential لمكونات المستويات الأدنى فى النظام البيئى. ويمكن إعطاء مثال لإيضاح ذلك: يحدد كم الغذاء المتوافر (متسوى أعلى) قدرة أفراد النوع (مستوى أدنى) على الزيادة فى العدد.

### جـ - الهولون Holon:

كثيرا ما يستخدم لفظ «هولون» Holon فى نظرية التسلسل فى الأنظمة البيئية، وقد وضع ذلك المصطلح كوستلر (Koestler, 1970)، والكلمة مشتقة من أصل يونانى ومقسمة إلى مقطعين "holos" وتعنى الكل (Whole) والمقطع "on" ويعنى جزء (Part). وتستخدم كلمة هولون Holon لوصف تحت نظام "Subsystem" يمثل جزء من مستوى أعلى، وفى نفس الوقت يحتوى على جميع «تحت الأنظمة» الأدنى منه فى التسلسل.





وأخيرا لخص هارى ومولر (Hari & Muller, 2000) خصائص التسلسل فى الأنظمة البيئية فى النقاط التالية:

* يتكون النظام من تحت أنظمة، ترتبط بعضها البعض.
* كل تحت نظام Subsystem يعتبر جزءا من النظام الأعلى منه فى التسلسل، ويعتبر فى نفس الوقت وحدات تنظيمية لتحت الأنظمة الأدنى.
* تتفاعل تحت الأنظمة مع بعضها البعض من خلال إشارات تمر خلالها.
* تفاعلات تحت الأنظمة فى نفس المستوى ليست حادة، ولكن التفاعلات الأهم توجد بين تحت الأنظمة فى المستويات المختلفة من التسلسل الهرمى لمكونات النظام البيئى، وكل تحت نظام يعتبر معوقًا ومتحكما فى تحت النظام الأدنى منه خلال انتقال وترشيح المعلومات والإشارات المارة خلاله قبل إرسالها لتحت الأنظمة الأدنى (نزولا) أو إرسالها لتحت الأنظمة الأعلى (صعودًا).
* العمليات فى المستويات العليا تأخذ مدى مكانيا واسعا (تحدث على نطاق واسع بالنسبة للمكان مثل التغيرات المناخية للكرة الأرضية)، ولكنها تتغير ببطء بالنسبة للزمن (على مدى زمنى طويل)، والعكس صحيح بالنسبة للمستويات الأدنى، حيث تأخذ حيزًا مكانيًا ضيقًا فى زمن قصير.

### د - تطبيق نظرية التسلسل الهرمى فى علم البيئة:

**Application of Hierarchy Theory in Ecology:**

دخلت هذه النظرية علم البيئة عام ١٩٨٢ (Allen and Starr, 1982)، ومنذ ذلك الحين بدأ استخدامها وتطبيقها فى وصف الأنظمة البيئية.

وتجدر الإشارة إلى أن نظرية التسلسل الهرمى استخدمت فى علوم أخرى قبل علم البيئة. استخدمت فكرة التسلسل فى علوم التقسيم والتصنيف حيث





تميزت المراتب التصنيفية إلى طوائف ورتب وعائلات وأجناس وأنواع. . .إلخ، وسوف نعطى الآن أمثلة لاستخدام نظرية التسلسل فى علم الأنظمة البيئية.

### هـ - التسلسل المكانى (الفراغى) للتركيبات والنسب فى الأنظمة البيئية

### Spatial Hierachies of Structures and Gradients in Ecosystems

من أمثلة التسلسل النوعى (الكيفى) فى الأنظمة البيئية ما أسماه آلان وهوكسترا (Allen and Hoekstra, 1992) التسلسل التقليدى لمستويات التعضى Conventional Hierarchy of Levels of Organization حيث أشارا إلى وجود مراتب أو تسلسل فى عناصر النظام البيئى بدءا من الخلية إلى المحيط الحيوى (راجع شكل ١) والتسلسل أو الطبقية تعنى أن كل مستوى يمكن اعتباره جزءا من مستوى أعلى منه ويتكون من وحدات من المستوى الأدنى، ويوضح الجدول التالى (جدول ١) مستويات التسلسل بدءا من المحيط الحيوى Biosphere وحتى الخلية (ديناميكية عنصر الكربون خلال المستويات المختلفة).

***جدول ١ : درجات التسلسل فى التعضى من الخلية إلى المحيط الحيوى***

عن (Allen and Hoekstra, 1992)

| رقم المستوى | المستوى | مثال على تفاعلات عنصر الكربون |
|---|---|---|
| الثامن | المحيط الحيوى Biosphere | اتزان الكربون على مستوى الكرة الأرضية شاملا الأنظمة البحرية |
| السابع | البيوم Biome | تأثير المناخ على ديناميكية الكربون |
| السادس | المسطحات الطبيعية Landscape | توازن الكربون فى متجمعات المياه العذبة |
| الخامس | النظام البيئى Ecosystem | توازن الكربون فى النظام البيئى |
| الرابع | المجتمعات Community | حركة الكربون فى السلاسل الغذائية |
| الثالث | الأهلات Populations | ديناميكية عنصر الكربون فى نوع واحد |
| الثانى | الكائن الحى Organism | حركة عنصر الكربون فى الهضم |
| الأول | الخلية Cell | الكربون فى عملية التنفس |

## التسلسل الزمانى فى عمليات النظام البيئى

**Temporal Hierachy of Processes**

كما أوضحنا سابقا، تشير نظرية التسلسل إلى أن عمليات المستويات الأعلى تعمل فى نطاق مكانى أعلى وعلى مدى زمنى بطىء، فنجـد أن ديناميكية المياه فى مناطق تجمعها الأساسية (البحار - الأنهار . . . إلخ) تعمل كأحد المعوقات التى تحدد ديناميكية المياه فى البحـيرات والتى تعتبر بدورها عاملا معوقـا (محددًا) لديناميكية حركـة المياه فى أشجـار الأراضى الرطبة (Alder Wetland)، من هنا يتضح نظام التسلسل الهـرمى وتأثير المستويات المخـتلفة على المستويات التى تليـها على المدى الزمنى.

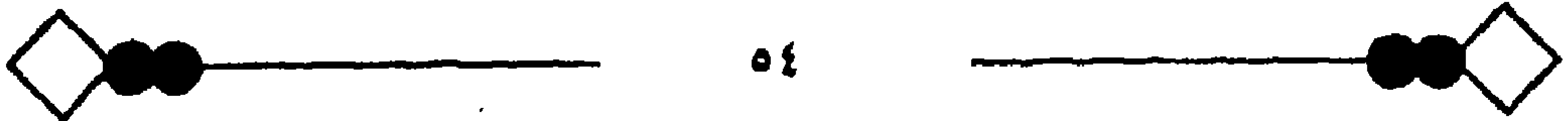
### و - التسلسل المكانى - الزمانى للوظائف

**Spatio-Temporal Hierarchy of Functions**

يعتـبر توحد الزمن والفـراغ لبناء وحدات تنظيـمية من أهم التـحديات التى تواجه نظـرية التسلسل الهـرمى فى النظام البيـئى. حيث إنه من السـهل أن نوجد مثالا للتـسلسل فى الزمن أو الفراغ ولكن من الصعب أن نجد توحـدا فى التسلسل الهرمى الزمانى - المكانى لطـبقات أو مستويات النظام البيئى. ولكن يمكن إعطاء بعض الأمثلة للتسلـسل «الزمانى- المكانى»، حيث توجد علاقـة بين حجم الجسم وفترة الحـياة أو معدلات التكاثر (الزيادة المكانية فى الكتلة الحـيوية وزمن الجيل) أو جسم الحيوان (الكتلة الحـيوية) ومعدلات تكاثره كما يتضـح فى الأمثلة التالية (مع الأخذ فى الاعتبار بعدم إمكانية تطبيق نظرية التسلسل الهرمى على تلك الأمثلة):

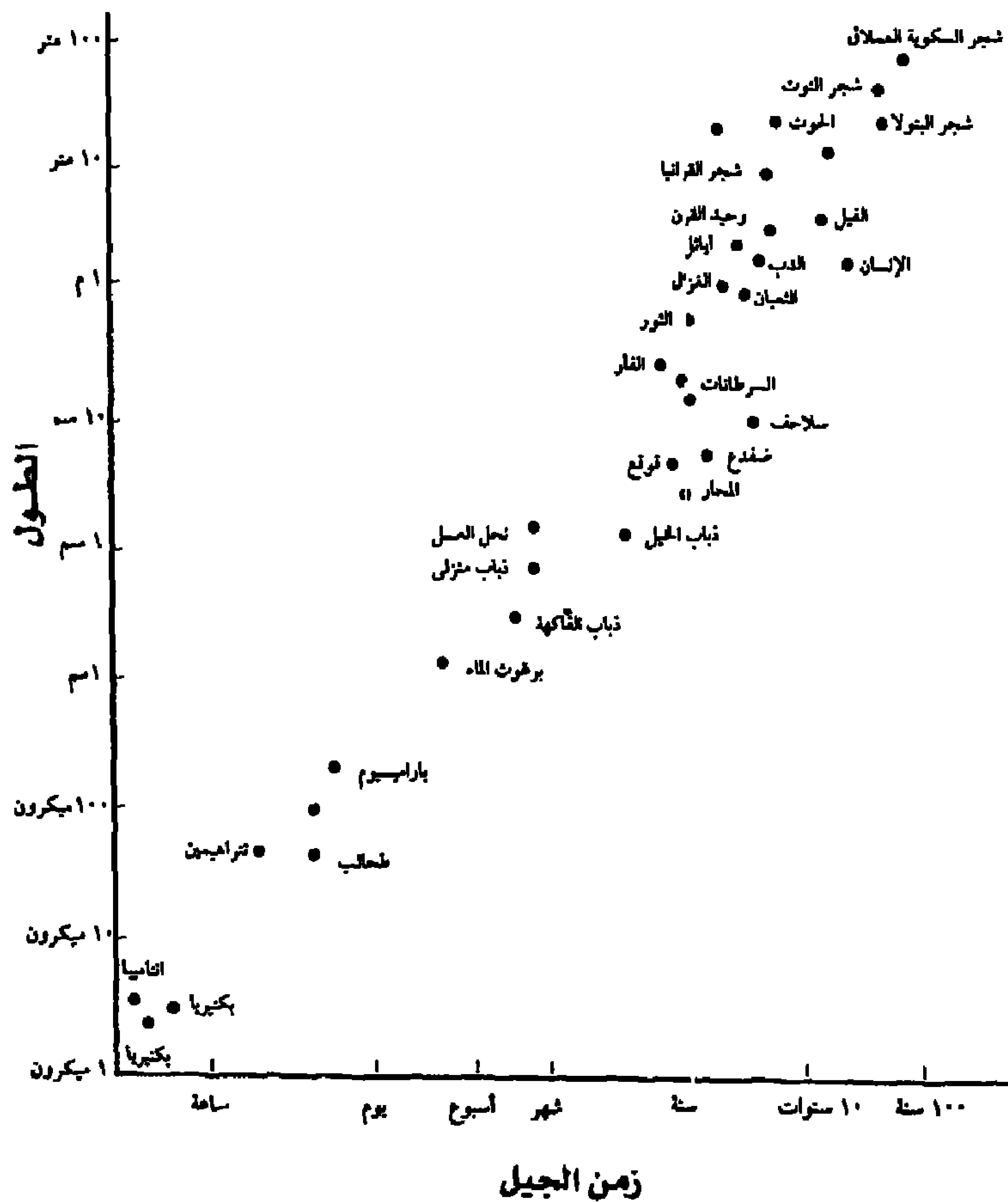
١ - توجد علاقة قوية بين حـجم الكائن الحى ومتوسط زمن الجيل (الأنواع الكبيرة مـثل الثدييات تكمل دورة حـياتها فى عدة سنوات بينمـا تحتاج بعض الحشـرات إلى أسابيع قليلـة لإكمال دورة حـياتهـا، فى حين أن دورة حياة الكائنات الدقيقة مثل البكتيريا تحتاج إلى ما يقدر بالدقائق أو الساعات) (شكل ٢).

٢ - تقل معدلات التكاثر الطبيـعية للأفراد "r" (الزيادة فى الكتلة الحيوية - واحتلال مساحة أكبر فى الفراغ) مع زيادة زمن الجيل (شكل ٣).



٣- الحيـوانات الكبيرة لهـا معدلات زمنية أقـل للزيادة فى العدد (شكل ٤) حـيث تقل مـعـدلات التكاثر (٪) للحـيـوانات ذوات الدم الحـار عن الحيوانات ذوات الدم البارد وترتفع معدلات التكاثر فى الكائنات وحيدة الخلية.

والنقاط السابقة لها أهمية عند النـظر فى اختيار تقنيات حفظ الأنواع، حيث يمكن من خلالهـا تحديد الزمن الذى تستغرقـه آهلات النوع الذى تعرض لظروف بيئية صعبة لتعيد بناء نفسها من جديد.




شكل (٢): العلاقة بين الطول وزمن الجيل فى مجموعة متنوعة من الكائنات الحية (عن محمد محمد الشاذلى، ٢٠٠٠).

شكل (٣): العلاقة بين معدل الزيادة الطبيعية r وزمن الجيل في العديد من الكائنات (عن محمد محمد الشاذلي، ٢٠٠٠).

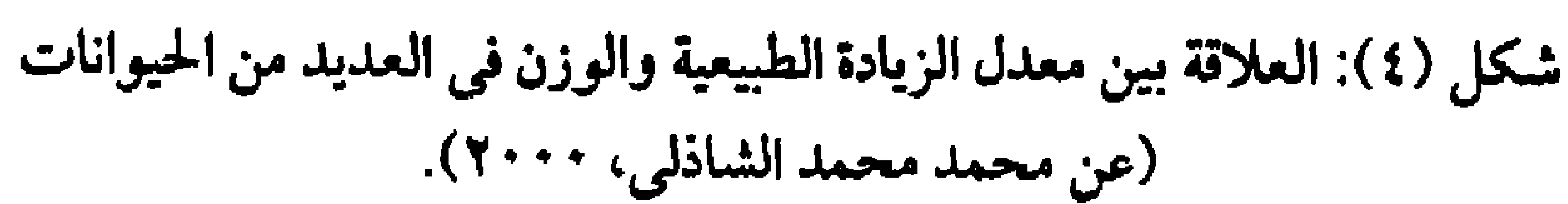
(Δ) ذوات الدم البارد
(●) وحيد الخلية
(O) ذوات الدم الحار

لوغاريتم معدل الزيادة الطبيعية (يوم $^{-1}$)

3 2 1 0 −1 −2 −3

−16 −14 −12 −10 −8 −6 −4 −2 0 2 4 6 8

لوغاريتم الوزن (بالجرام)



**شكل (٤): العلاقة بين معدل الزيادة الطبيعية والوزن فى العديد من الحيوانات (عن محمد محمد الشاذلى، ٢٠٠٠).**

## - مراجع مختاره:

محمد محمد الشاذلي: ٢٠٠٠. مبادئ علم بيئة الحشرات. الدار العربية للنشر والتوزيع - جمهورية مصر العربية.

**Allen, T. F.H. and Starr, T. B. 1982**. Hierarchy-Perspectives for Ecological Complexity. The University of Chicago Press, Chicago-London, 310pp.

**Allen, T.F.H. and Hoekstra, T.W. 1992**. Toward a Unified Ecology-Complecity in Ecological Systems. Columbia University Press, New York,384pp.

**Burke Hubard, B. 1997**. Wavelets-Die Mathematik der kleinen Wellen. Birkhauser Verlage, Basel-Boston-Berlin, 308pp.

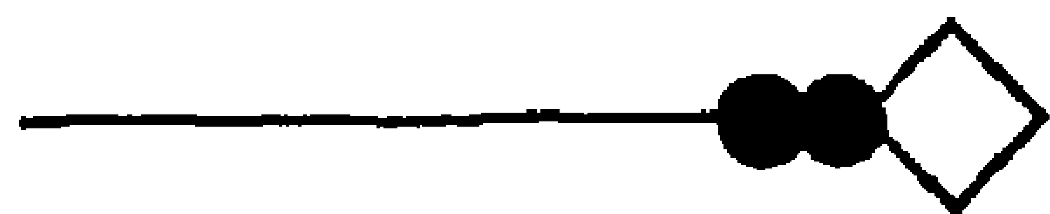
**Burrough, P. A. 1981**. Fractal dimensions of landscapes and other environmental data. Nature 294, pp 240-242.

**Burrough, P. A. 1983**. Multiscale sources of spatial variation in soil I: the application of fractal concepts to nested.

**Capra, F. 1996**. The web of life: A new scientific understanding of living systems. Anchor books, New York.

**Clemen, T. 1997**. Integration simulation models into environmental information systems-model analysis. In: Denzer, R., Swayne, D. A. and Schimak, D. (Eds.) Eniveronmental Software Systems. Volume 2, pp 292-299.





**Clemen, T. 1999**. Zur wavelet-gestutzen Validierung von Simulationsmodellen in der Okologie-Dissertation. Universitat Kiel.

**Caedke, U., Barthelmess, T. and Straile, D. 1996**. Temporal variability of standing stocks of individual species, communities, and the entire plankton in two lakes of different tropic state: empirical evidence for hierarchy theory and emergent properties? Senckenbergiana Maritima Band 273/6, pp. 169-177.

**Colley, F. B. 1979**. Structural and Functional properties as they in affluence ecosystem stability proceedings of 1st. international congress of Ecology 97-102.

**Ferre, F. 1996**. Being and value toward a constructive postmodern metaphysics. State. Univ. New York Press, Albang.

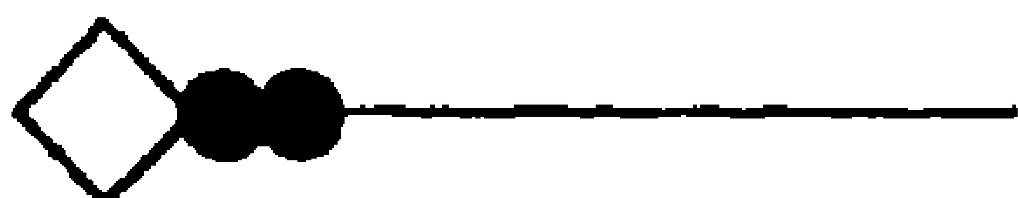
**Golley, F. B. & D. Keller. 1998**. Science of synthesis. Univ. of Georgia press.

**Golley, F. B. 2000**. Ecosystem structure, pp. 21-32. In S. E. Jorgensen & F. Muller (eds.). Hand book of Ecosystem theories and management. Lewis Publishers, U.S.A.

**Hannon, B. 1973**. The structure of Ecosystem. J. Theoritical Biology. 41: 535-546.

**Hari, S. 1999**. Die Anwendung der Hierarchitastheorie in der Okosystemforschung-Dissertation. Universitat Kiel.

**Hari, S.**, Franzle, O., Li, B. L., Muller, F. and Reiche, E.-W. : Spatio-temporal heterogeneity and scales of forest ecosystem processes. Ecological Studies.





**Hari, S. & Muller, F. 2000**. Ecosystems as hieracheal systems pp. 265-280. In S. E. Jorgensen & F. Muller ceds.). a handbook of Ecosystem theories and management. Lewis publisher, USA.

**Klijn, F. 1997**. A Hierarchical Approach to Ecosystems and its Implications for Ecological Land Classification. Ponsen and Looijen BV, Wageningen, 186pp.

**Kluge, W. 1993**. Der EinfluB von Uferfeuchtgebieten auf den interirdischen Wasser-und Stoffaustausch zwischen Umland und See. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen Gesellschaft 72, S. 151-154.

**Koestler, A. 1970**. Jenseits von Atomismus und Holismus-der Begriff des holons. In: Koestler, A. and Smythies, J. R. (Hrsg.) Das neus Menschenbild. S. 192-229.

**Kolasa, J. 1989**. Ecological systems in hierarchical perspective: breaks in community structure and other consequences. Ecology 70 :36-47.

**Loehle, C. and Li, B.L. 1994**. Statistical properties of ecological and geologic fractals. Ecological Modelling 85: 271-284.

**Mesarovic, M. D., Macko, D. and Takakara, Y. 1970**. Theory of Hierachical, Multilevel Systems. Academic Press, New York, 294pp.

**Milne, B. 1990**. Lessons for applying fractal models to landscape patterns. In: Tumer, M. G. and Gardner, R. H. (Eds.) Quantitative Methods in Landscape Ecology. Pp 199-235.



**Muller, F. 1992**. Hierarchical approaches to ecosystems- consequences of self-organising processes?- Senckenbergiana Maritima 27 (3-6), S. 151-168.

**Muller, F. 1998**. Gradients in ecological systems. Ecological Modelling 108: 3-21.

**Muller, F., Breckling, B., Bredemeier, M., Grimm, V., Malckow, H., Nielsen, S. N. and Reiche, E.W. 1997**. Emergente Okosystemeigenschaften. In: Franzle, O., Muller, F. and Schroder, W. (Hrsg.). Handbuch der Umweltwissenchaften. Kapitel III-2.5, 21 S.

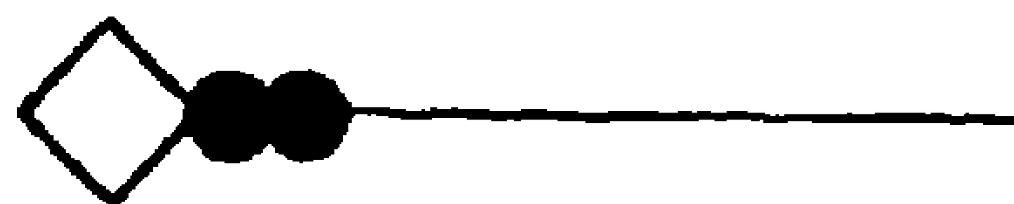
**O'Neill, R. V., DeAngelis, D. L., Waide, J. B. and Allen. T. F. H. 1986**. A Hierachical Concept of Ecosystems. Princeton University Press, Princeton-New Jersy, 253 pp.

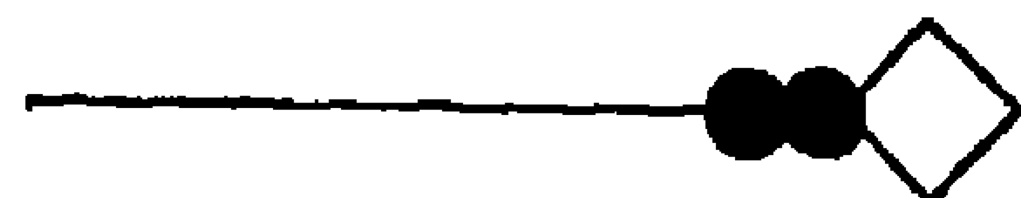
**O'Neill, R. V., Johnson, A. R. and King, A. W. 1989**. A hierachical framework for the analysis of scale. Landscape Ecology 3: 193-205.

**Pattee, H. H. 1973**. Hierarchy theory-The Challenge of Complex Systms.-Braziller, New Yoek, 156, 156pp.

**Salthe, S. N. 1985**. Evoving Hierarchical Systems-Their Structure and Representation.-Columbia University Press. New York, 343pp.

**Simon, H. A. 1973**. The Organization of Complex. In: Pattee, H.H. (Ed.) Hierachy Theory. Pp 1-27.





**Steel, J.H. 1989**. The ocean landscape. Landscape Ecology 3: 185-192.

**Torrence, C. and Compo, G.P. 1998**. A practival guide to wavelet analysis-Bulletin of the American Metereological Society 79: 61-87.

**Wetzel, H. 1998**. ProzeBorientierte Deutung der Kationendynamik von Braunerden als Glieder von Acker-und Waldcatenen ei-net norddeutschen Jungmoranenlandschaft-Bornhovder Seenkette.-Ecosys Suppl. Bd 25, 132 S.

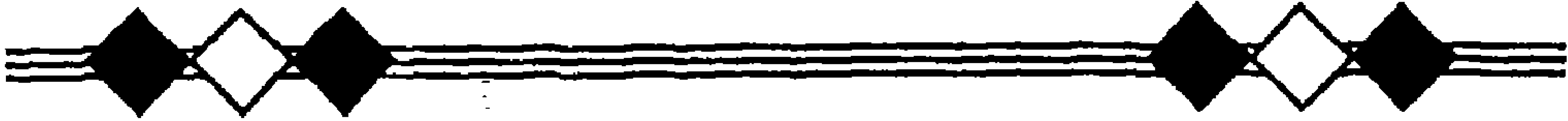
* * *





# الفصل الثالث

## المفاهيم الأساسية والرقمية
## للأنظمة البيئية



**١ - الأنظمة البيئية كأنظمة معقدة.**

**٢ - دور النماذج البيئية والأدوات الأخرى فى نمو نظريات النظام البيئى.**

**٣ - مبدأ الريبة (الشك) فى فهم النظام البيئى.**

أ - تطبيق مبدأ الشك فى ميكانيكا الكم على الأنظمة البيئية

ب - مفهوم الشك

جـ - الشك فى النماذج البيئية

**- مراجع مختارة.**

## مقدمة:

بدأت دراسة الأنظمة البيئية فى الخمسينيات من القرن الماضى وكان للعالم Odum فضلا فى وضع أسس هذا العلم (راجع Odum, 1969)، ولكن البداية الحقيقية لهذا العلم كانت فى منتصف الستينيات عند ظهور أول جمعية علمية متخصصة فى هذا العلم، حيث بدأت نظرية النظام البيئى فى النمو بعد ظهور كتاب الربيع الصامت The Silent Spring (Carson, 1962) وكتاب الشبح فى الآلة The Ghost in The Machine (Kostler, 1967).

تتجه المدارس العلمية الحديثة إلى ما يعرف بالنظرة الشمولية Holistic إلى النظام البيئى، والنظرة الشمولية تعنى ببساطة أن النظام البيئى ليس ككل يساوى مجموع مكوناته، بل هو أكثر من مجرد محصلة تلك المكونات، والسبب فى ذلك أن علماء الأنظمة البيئية يرغبون فى فهم تأثيرات البشر على الطبيعة وكيفية تفاعل الطبيعة تجاه تلك التأثيرات، وبناء على ذلك فإن طرق البحث الاختزالية Reductionistic Methods والتى تهتم بدراسة ظاهرة واحدة أو مجموعة من الظواهر فقط فى النظام البيئى لم تعد مجدية فى حل المشاكل البيئية، ويعزى هذا إلى سببين:

**أولا:** التأثيرات غير المتوقعة والتى يمكن أن تحدث عبر الزمان أو المكان نتيجة الارتباطات المعقدة والمتشابكة بين عناصر النظام البيئى، وتلك التأثيرات لا يمكن التنبؤ بها ببساطة، هذا بالإضافة إلى إمكانية حدوث بعض الظواهر النادرة فى الطبيعة بشكل تلقائى.

**ثانيا:** الأنظمة البيئية كيانات شديدة التعقيد، ومن ثم فإنه من المستحيل تحليلها ومعرفة كافة التفاصيل الخاصة باستمراريتها وتغيراتها إلا من خلال رؤية أكثر شمولية.

ومما تقدم نستطيع إدراك أنه لا يمكننا فهم الكل بمجرد إضافة كل ما أدركناه عن مكونات هذا الكل: وسوف نعطى فى هذا الفصل فكرة موجزة عن مدى

تعقيد الأنظمة البـيئية، ذلك التعقيد قد أدى فى بداية التسـعينيات إلى إدخال مبدأ الشك أو الريبة فى النماذج والنظريات البيئية. هذا بالإضافة إلى أن توازن وسريان الطاقة فى الأنظمة البيئية يعتـبران من الركائز الأساسية فى النظريات الحديثة للنظام البيئى، ومن ثم فـقد أعطينا شرحا مـبسطًا عن بعض تطبيقات الـديناميكا الحرارية على الأنظمة البيئية.

**١- الأنظمة البيئية كأنظمة معقدة Ecosystems as Complex Systems:**

اجتهـد العلماء وتوصلوا إلى أن النظام البـيئى النمطى يتكون من ١٠^١٥ إلى ١٠^٢٠ من المكونات، وبعض هذه المكـونات يمكن أن ينتـمى لنفس النوع أو نفس المادة غير الحيـة والتى قد توجد فى صور أو أشكال مختلفة فـى النظام البيئى مثل جـزيئات الغـرين. يختلف عـدد أنواع الكائنات الحـية من نظام إلى آخـر، ولكنه يتراوح بصفة عامة بين ١٠٠٠ إلى ١٠٠٠٠٠ نوع. ولكن يجب ألا يغيب عنا أن أفراد نفس النوع تختلف فى صـفاتها الوراثية، حيث إن لكل فرد بصـمته الوراثية الخاصة وعندما نضع تعداد أفراد النوع فى الاعـتبار فإننا نتعامل مع نظام مكون من ١٠^١٥ إلى ١٠^٢٠ جزء ولكل منها صفاته الخاصة. ومن ثم فإن هذا الفصل يهدف إلى مناقشة وإيضـاح بعض جوانب النظريات الحديثة فى النظام البـيئى والتى تلقى الضوء على درجة تعقيد الأنظمة البيـئية ودور النماذج البيئية فى نمو نظريات النظام البيئى ومبدأ الشك الذى أدخل حديثا فى نظريات ودراسات الأنظمة البيئية وعلاقة علم الديناميكا الحرارية بنظرية النظام البيئى.

ومما سبق يتـضح أنه من العسـير تحليل ومعـرفة كل مكونات النظام البـيئى وحتى لو تحقق العسير واستطعنا جمع كافة المعلومات عن جميع مكونات نظام بيئى بذاته فإنهـا لن تكون مجـدية تماما نظرا لتغـير المكونات البيـولوچية للنظام بصـفة مستمرة حتى تتواءم مع التغيرات البيئية المحيطة بها.

وقـد حـدد العـلماء بعض الخـواص المشتـركة للأنظمة البيئـية والتى سوف ننوه عنها الآن، وبصـفة عامة فإنه يمكن تـلخيص خصائص الأنظمة البـيئية فـيما يلى:





١ - كل نظام بيئى يتكون من عدد هائل من المكونات.

٢ - تتفاعل تلك المكونات وتتبادل التأثير على بعضها البعض بطريقة غير خطية وعلى مدى مختلف فى الحيز والزمان.

٣ - تنظم الأنظمة البيئية أنفسها بشكل تلقائى ومحصلة ذلك هو تركيبات وسلوكيات معقدة للنظام البيئى.

٤ - تخضع الأنظمة البيئية لقوانين الديناميكا الحرارية.

٥ - تستجيب الأنظمة البيئية للتغيرات الفيزيائية فى البيئة عن طريق تكيف الكائنات الحية لتلك التغيرات.

٦ - تراكيب وديناميكا الأنظمة البيئية غير متعكسة، أى أن وصول النظام البيئى لشكل كان عليه فى فترة زمنية سابقة غير ممكن، ولكن توجد شواهد لما كان عليه أى نظام بيئى سابق.

٧ - الهرمية Hierarchy فى النظام البيئى: وهذا يعنى أن عناصر النظام البيئى تنتظم فى شكل متسلسل أو هرمى، فالنظام البيئى يتكون من تحت أنظمة Subsystems وكل منها يتكون من مجموعة مكونات وعناصر (راجع الفصل الثانى).

بالإضافة إلى الخصائص السابقة، فقد اتفق العديد من العلماء (Klötzli, 1993 a,b; Jax et al., 1993) على بعض الشروط التى يجب أن تتوافر فى أى وحدة من الطبيعة حتى يمكن أن تعامل كنظام بيئى وتلك الشروط هى:

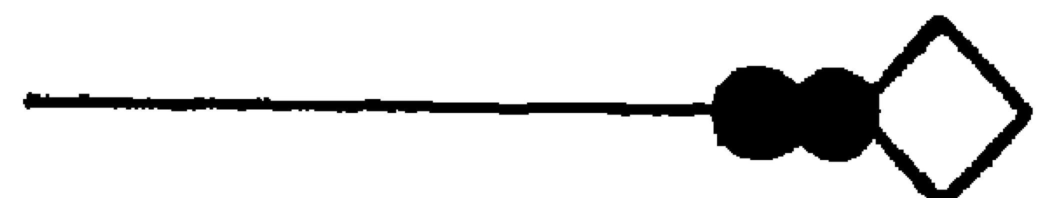
١ - دورات المواد (مثل دورة النتروچين أو الكربون) وحركة العناصر فى الشباك الغذائية فى النظام (راجع الفصل الخامس).

٢ - انسياب الطاقة الذى يحفز التنوع البيولوچى والدورات الغذائية.

٣ - وجود المركبات العضوية، وغير العضوية، وعوامل الطقس والمناخ والأنواع المنتجة والمستهلكة والمحللات فى حيز النظام (راجع الفصل الخامس).

٤ - حدود زمانية ومكانية للنظام (راجع الفصل الثانى).





٥ - قدرة النظام على التنظيم الذاتى والتلقائى.

٦ - وجود علاقـات داخلية وخارجـية تربط جميع مكونات النظـام كوحدة واحدة.

فإذا ما انطبقت الخصائص والشروط السابقة على أى وحدة من الطبيعة فإنها تعتبر بمثابة «نظام بيئى» Ecosystem.

## ٢ - دور النماذج البيئية والأدوات الأخرى فى نمو نظريات النظام البيئى:

**Ecological Modeling and other Tools applicable in development fo Ecosystem Theories:**

تعتبر النماذج الرياضية إحـدى الطرق الهامة فى دراسة النظام البيئى، حيث استـخدمت النمـاذج الرياضيـة كأدوات لوصف العلاقـات المعقـدة فى الطبيـعة. والنموذج الرياضى هو محاولة لوصف الصفات المميزة والعلاقات فى النظام البيئى عن طريق استخدام الاصطلاحات والعلاقات الرياضية.

لقد بدأ اسـتخدام النماذج الريـاضية فى علوم البيـئة فى مطلع العشـرينيات من القـرن الماضى ولكن مع بداية السبـعينيـات تعاظم دور النمـاذج الرياضيـة فى وصف العلاقات البيئـية وصياغة نظريات وفرضيات الأنظمة البـيئية، ويرجع السبب فى ذلك إلى تقدم تقنيـات استخـدام الحاسب الآلى حـيث أمكن حل مجمـوعات معـقدة من العلاقات الرياضية وإعطاء شكل نهائى واضح لتلك العلاقات فى صورة نماذج رياضية.

يمكن تعريف النمـوذج الرياضى على أنه «طريقة لاستـخدام وتنظيم وتحليل عناصر من المعرفة أو بيانات متاحة عن مجـموعة متغيرات مرتبطة بطرق أو بطريقة ما» ومن ثم فإن صحة النموذج أو قيمته تعـتمد بصورة مباشرة على صحة وجودة العناصر أو البيانات المتاحة عن المتغيرات التى يعبر عن علاقاتها بالنموذج.

وبناء على ما تقـدم فإن النموذج الرياضى لا يمكن الاعتـماد عليه فى ملء الفجوات المعرفية أو الإضافة إلى مـعلوماتنا عن النظام إذا ما اعتمد على عناصر أو بيانات ضعيـفة أو غير كاملة، ومن ناحية أخـرى، فإن النموذج الرياضى يمكن أن يمدنا بمعلومات جديدة وتصورات غير تقليدية وعـلاقات واقعية تضاف إلى معارفنا عن التفـاعلات والعلاقـات فى النظام البيئى إذا مـا اعتمد على بـيانات صحيـحة





وعناصر متكاملة، وفى هذه الحالة يكون النموذج الرياضى قادرا على إعطاء معلومات جديدة عن العلاقات والتفاعلات فى النظام البيئى، ومن ثم يساعد فى بناء نظريات النظام البيئى. وعلاوة على ذلك فإن وضع نتائج النماذج التى بنيت من خلال وجهات نظر ورؤى مختلفة جنبا إلى جنب فى محاولة لإيجاد خيط يربط بين تلك النماذج قد يعطينا تصورا وفهما شموليا عن النظام البيئى.

إن تحليل العلاقات والمشاكل Analysis of Problems يعتبر إستراتيجية قوية يستخدمها العلم ولكن حتى الآن لم يتم استخدام توليف أو تركيب المعلومات Synthesis of Knowledge كأداة للكشف عن أسرار الطبيعة، ولكن ظهور المشاكل البيئية قد أدى إلى نمو النماذج البيئية كطريق أو أداة لإماطة اللثام عن تفاعلات وخصائص الأنظمة البيئية، حيث إن النموذج عبارة عن أداة توليف أو تجميع Synthesising للحقائق وليس أداة تحليل، وفى الواقع فإن التحليل Analysis عكس التوليف Synthesis، والمصطلح الأخير "Synthesis" «توليف» يعنى فى الديالكتيك الهيجلى أو المنطق الجدلى الهيجلى (للفيلسوف الألمانى هيجل فردريك - صاحب المنطق الجدلى الهيجلى) يعنى الجمعية أو نتيجة الجمع بين الطريحة Thesis والنقيضة Antethesis، وبالرغم من هذا فينبغى أن لا نتجاهل أن النماذج يمكن أن تستخدم أيضا لتحليل صفات جزء أو أجزاء من النظام البيئى بالرغم من أن النماذج فى ذاتها أدوات تجميعية وليست تحليلية، وكثيرا ما تستخدم لإعطاء نظرة شمولية عن النظام البيئى.

إن استخدام أحد النماذج كأداة تجميعية أو توليفية لا يمكن أن يشتمل على جميع خصائص وصفات النظام البيئى الحقيقى، وإذا افترضنا احتواء أحد النماذج على كافة المعلومات فهذا يعنى ببساطة أن النموذج يصبح مساويا للنظام البيئى، ومن ثم فإنه سوف يكون نموذجا شديد التعقيد بقدر تعقيد النظام فى ذاته، ولكن النماذج المطلوبة هى أدوات تجميعية لصياغة العلاقات بين الحقائق الأساسية فى المشكلة أو الموضوع تحت الدراسة.

يمكن استخدام النماذج البيئية لاختبار الفرضيات البيئية أو للحصول على معلومات جديدة عن خصائص النظام البيئى، وكل هذا سوف يساعد على إعطاء





القاعدة العلمية لصياغة ونمو نظريات النظام البيئى. يجب أن تعطى النماذج رؤى حقيقية وعميقة ومبسطة عن النظام البيئى.

تستخدم النماذج البيئية جنبا إلى جنب مع الأدوات الأخرى المطبقة فى نمو نظريات النظام البيئى، وتلك الأدوات هى الأبحاث البيئية والإحصاء البيئى حيث تعطى الأبحاث البيانات اللازمة لفهم النظام البيئى وتلك البيانات هى حجر الزاوية فى إعداد النماذج، ومن ناحية أخرى فإن النماذج يمكن أن تستخدم فى قياس مدى صحة البيانات المستخلصة من أبحاث النظام البيئى، أما الإحصاء البيئى فهو وسيلة لاستخلاص أكبر قدر ممكن من الحقائق أو المعلومات من بيانات أو نتائج التجارب، بالإضافة إلى إمكانية استخدام الإحصاء البيئى مباشرة فى اختبار الفرضيات البيئية، ويوضح شكل (١) العلاقة بين النظرية البيئية والنماذج البيئية وبحوث البيئة والإحصاء البيئى كما أورده (Jorgensen & Muller, 2000).

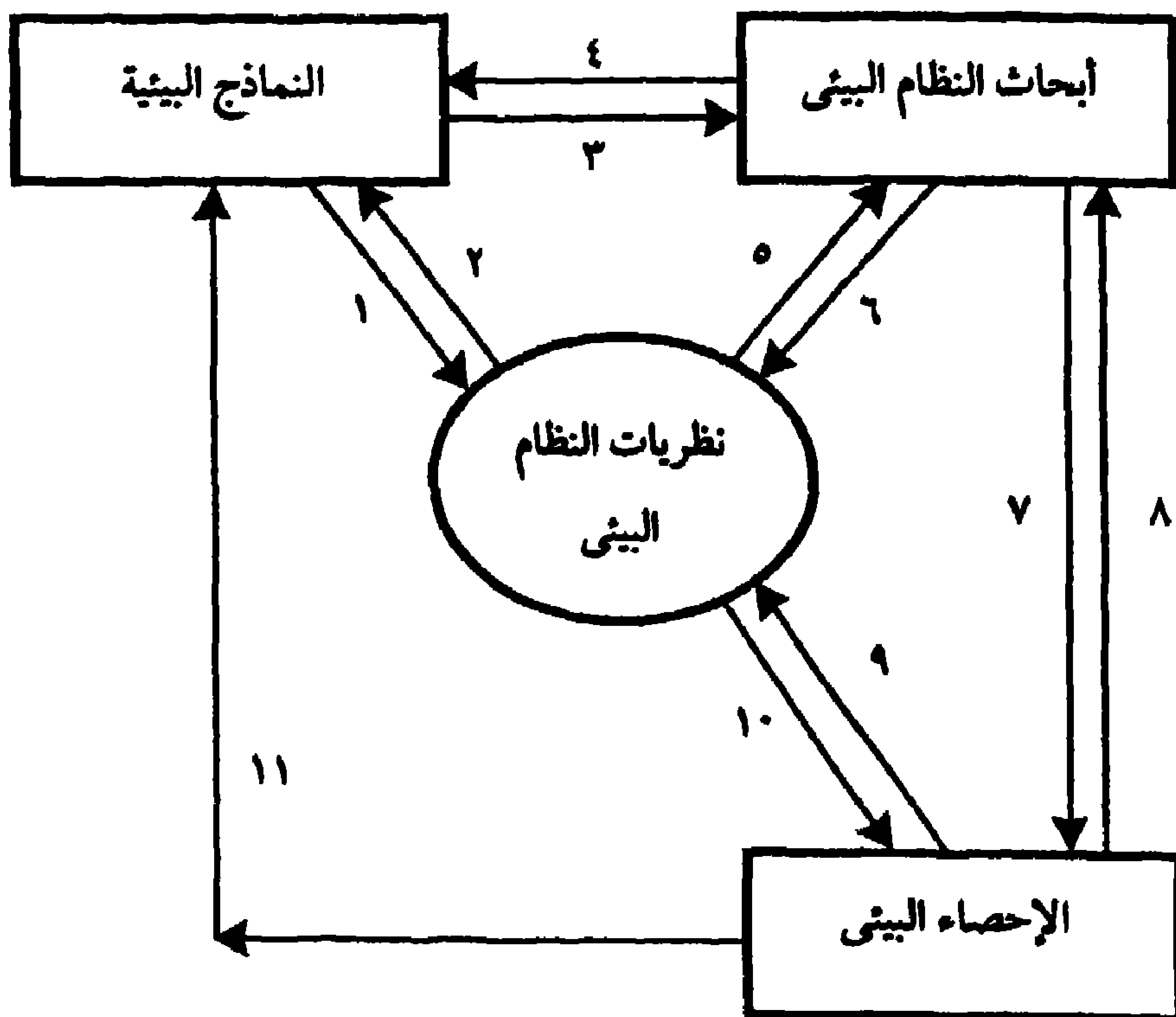
## ٣ - تطبيق مبدأ الريبة (الشك) فى فهم النظام البيئى:

**Application of Uncertainty Principle in Understanding Ecosystems:**

كيف يمكننا أن نصف نظاما شديد التعقيد مثل النظام البيئى بالتفصيل؟ الإجابة: إن هذا الوصف سوف يكون من المستحيل إذا أردنا أن يشتمل الوصف على جميع التفاصيل والعلاقات بين جميع مكونات النظام البيئى مثل تكيف الكائنات الحية، والتنظيم الذاتى للنظام البيئى وتطور الأنواع وغير ذلك من متغيرات وعلاقات ديناميكية، لقد تم إدخال مبدأ الريبة أو الشك Uncertainty Principle فى نظريات النظام البيئى عام ١٩٨٨ (Jorgensen 1988, 1994 a,b)، وقد أدخل هذا المبدأ فى علم الأنظمة البيئية نظرا لشدة تعقيد النظام البيئى، فعلى سبيل المثال، إذا أردنا قياس ما إذا كانت هناك علاقة خطية بين متغيرين فقط فى النظام البيئى فإننا نحتاج على الأقل إلى ثلاث مشاهدات أو تجارب، ولإيضاح ذلك سوف نعطى هذا المثال: إذا افترضنا أن معدل نمو الجنين فى أحد أنواع الحشرات يتناسب طرديا مع درجة الحرارة فى البيئة فإننا نحتاج إلى ثلاث تجارب لمعرفة هل هذه العلاقة خطية أم لا كما فى شكل (٢).








شكل (١) العلاقة والتفاعل بين نظريات النظام البيئى والنماذج البيئية والأبحاث البيئية والإحصاء البيئى وتشير الأسهم إلى التفاعلات كما يلى:

(١) استخدام النماذج لاختبار النظريات البيئية أو لإعطاء مكونات النظرية البيئية مباشرة.

(٢) نمو النظريات البيئية ضرورة لإعطاء النماذج صفة بيئية.

(٣) استخدام البيانات أو نتائج التجارب لاختبار صحة النماذج البيئية.

(٤) النماذج يمكن أن تمدنا بأولويات البحث.

(٥) ضرورة الإجابة عن الأسئلة التى تطرحها نظريات النظام البيئى عن طريق الأبحاث البيئية.

(٦) تفسير نتائج أبحاث البيئة يمكن أن يؤدى إلى عناصر تستخدم فى صياغة نظريات النظام البيئى.

(٧) ضرورة معاملة نتائج أبحاث البيئة بطرق إحصائية.

(٨) يمكن أن تؤدى نتيجة التحاليل الإحصائية إلى مزيد من الأبحاث فى نفس الموضوع.

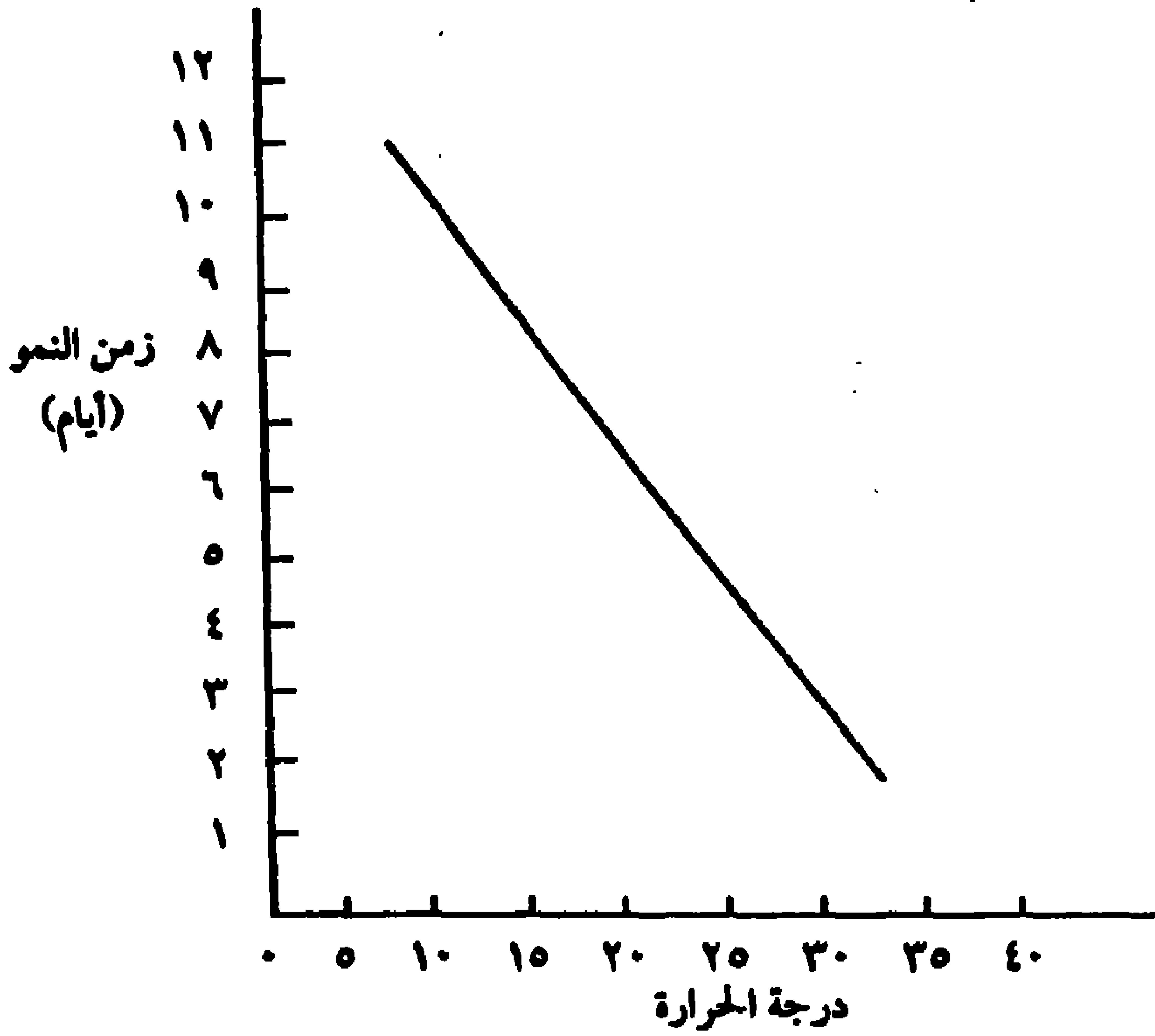
(٩) تستخدم نتائج الإحصاء البيئى كعناصر للنظريات البيئية.

(١٠) يمكن استخدام الإحصاء البيئى لاختبار صحة النظريات البيئية.

(١١) تستخدم نتائج التحاليل الإحصائية فى بناء النماذج البيئية.








**شكل (٢) علاقة بين معدل نمو الجنين ودرجة الحرارة ويلاحظ أن العلاقة خطية ولكن لا يمكن إثبات أن هذه العلاقة خطية إلا إذا تم قياس معدل النمو فى ثلاث درجات حرارة مختلفة على الأقل**

والآن إذا أردنا أن نعرف العلاقة بين ثلاثة مكونات أو متغيرات فسوف نحتاج إلى $٣^{(٢)}$ أو ٩ مشاهدات أو تجارب، وإذا أردنا دراسة العلاقة بين ١٨ مكونا من مكونات النظام البيئى فإننا سوف نحتاج إلى $٣^{(١٧)}$ وذلك ما يعادل تقريبا $١٠^{(٨)}$ أو مائة مليون مشاهدة أو تجربة تقريبا، وقد ذكرنا سابقا أن النظام البيئى يتكون من $١٠^{(١٥)}$ إلى $١٠^{(٢٠)}$ من المكونات ومن ثم فإن عدد الاستنتاجات أو التجارب التى تعطى تصورا صحيحا عن جميع العلاقات بين كافة مكونات أحد الأنظمة البيئية قد يفوق قدرة العقل البشرى على إدراك وتصور عدد الاستنتاجات والتجارب والإمكانات والوقت المطلوب لذلك.

ذكرنا فى الفقرة السابقة أننا نحتاج إلى مائة مليون مشاهدة لمعرفة العلاقة بين ١٨ مكونا من مكونات البيئة للنظام البيئى، والثمانية عشر مكونا تعتبر بالطبع جزءا





يسـيرا جـدا من أى نظام بيـئى، ولكن المائة مليـون مشـاهدة سوف تمدنا بصـورة واضحـة ودقيـقة عن هذا الجزء الـيسيـر (١٨ مكونا) من النظام البيـئى، ومن هنا تساءل علماء النظام البيئى (Costanza and Sklar, 1985) أيهما نختار: هل معرفة كل شىء عن لا شىء (هل تجرى مائة مليون مشاهدة لمعرفة علاقات جزء يسير من النظام البيـئى - ١٨ مكونا)؟ أم نعرف لا شىء عن كل شىء (هل نعرف أكـثر كم من العلاقات بأقل مشاهدات، وبالطبع فإن هذه الطريقـة لن تعطى معلومات دقيقة عن كل المكونات فى النظام البيئى ولكنها قد تعطينا نظرة عـامة أقل دقة وعمقا عن النظام البيئى ككل).

إن مبدأ الريبة أو الشك فى نظريات ونماذج النظام البيئى نتيجة كثرة مكونات النظام البيئى وشدة التعقيد فى علاقات تلك المكونات اضطر علماء البيئة إلى تطبيق بعض نماذج الشك أو الريبة فى ميكانيكا الكم على الأنظمة البيئية.

### أ - تطبيق مبدأ الشك فى ميكانيكا الكم على الأنظمة البيئية:

### Application of Quantum Mechanical Uncertainty on Ecosystems

إن صعوبة وتعقيد الأنظمة البيئية اضطر علماء البيئة إلى إدخال مبدأ الريبة أو الشك كـأحد العـوامل فى وصف ونمذجة النظام البـيئى، وهذا بدوره دفع علـماء البيئة (Jorgensen, 1988: 1994b) إلى تطبيق مبدأ الريـبة أو الشك المعمول به فى علم ميكانيكا الكم. إن الشك فى التحقق من الظواهر فى مكانيكا الكم يرجع إلى صغر حجم الجزيئـات حيث إنها متناهية الصغر، أما فى الأنظمة البـيئية فإن الشك أو الريبة فى صـحة الاستنتاجـات يرجع إلى شدة تعقـيد النظام البيئى كـما أسلفنا الذكر.

بناء على مـبدأ الريـبة أو الشك فى ميكانيكا الكـم قدم، (Jorgensen and Muller, 2000) نموذجا نظريا لبيان عـدد المشاهدات التى يمكن من الناحية النظرية تسجيلها على مدى تاريخ الحيـاة على الأرض من خلال استنتاج الزمن المتاح لكل مشاهدة، وينص هذا النموذج على ما يلى:

$(\Delta t)\ (\Delta E) \geq h/2\pi \longrightarrow (1)$

$\Delta t \longrightarrow$ الشك فى تعيين الزمن

$\Delta E \longrightarrow$ الشك فى تعيين الطاقة

وإذا استخدمنا جميع كم الطاقة التى استقبلتها الكرة الأرضية أثناء فترة عمرها التى تقدر بحوالى ٤,٥ بليون عام فسوف نحصل على النتيجة الآتية:

كم الطاقة = كم الطاقة لكل ثانية × عمر الأرض بالثانية

$(173 \times 10^{15}) \times (4.5 \times 10^{9} \times 365.3 \times 24 \times 3600) = 2.5 \times 10^{34}$ Joule

حيث:

إنسياب الطاقة لأشعة الشمس (W)= $137 \times 10^{15}$

عمر الأرض بالثانية= $4.5 \times 10^{9} \times 365.3 \times 24 \times 3600$

والآن بعد الحصول على قيمة "$\Delta E$" يمكن التعويض عنها باستخدام نموذج Jorgensen (1998) للحصول على قيمة $\Delta t$ وبالتعويض نجد أن قيمة $\Delta t$ العددية هى ($١٠^{-٦٩}$ ثانية)، ومن ثم فإن زمن المشاهدة الواحدة حوالى ($١٠^{-٦٩}$) ثانية، وعليه فإن عدد المشاهدات الممكنة على مدى عمر الأرض هو:

$$\frac{\text{(عمر الأرض بالثانية)}}{\text{زمن المشاهدة}}$$

$$\frac{\text{عمر الأرض بالثانية}}{\text{زمن المشاهدات لكل ثانية}} = \text{عدد المشاهدات الممكنة على مدى عمر الأرض}$$

وباستخدام آله حاسبة نجد أن:

عدد المشاهدات الممكنة = حوالى $١٠^{٨٥}$ مشاهدة.

ويمكن للقارئ أن يتخيل مدى ضخامة الرقم ($١٠^{٨٥}$) بوضع خمسة وثمانين صفرا على يمين الرقم (١).





ويتضح مما سبق أنه من المستحيل أن يستطيع الإنسان الحصول على عدد كاف من المشاهدات لوصف نظام بيئى واحد بالتفصيل، وتتفق تلك النتائج مع نظرية نيلز بوهر Niels Bohr والتى تنص على أن «من المستحيل أن نضع نموذجا أو صورة واحدة للحقيقة نظرا لأن الشك يضع حدودا لمعارفنا» وعموما فإن الشك فى صدق تعبير النماذج البيئية عن الواقع يرجع إلى شدة تعقيد وتداخل عناصر ومكونات النظام البيئى.

يرى بعض علماء الأنظمة البيئية أن نظرية الكم يمكن أن يكون لها تطبيقات واسعة فى مجال صياغة النظريات البيئية، حيث افترض البعض أن التغيرات المفاجئة والتى تشبه القفزات فى صفات الأنواع أو المكونات البيولوجية للنظام البيئى تشبه التغيرات المفاجئة أو القفزات فى الجزيئات النووية وذلك ما تفترضه «نظرية الكم» الفيزيائية. ويفترض البعض أن الطفرات التى أشار إليها عالم التطور المشهور دى فرى De Vries عام ١٩٠٢ يمكن أن يطلق عليها «نظرية الكم البيولوجية» حيث إن الطفرات التى أشار إليها تعتبر قفزات نوعية وكمية فى جزىء الجين.

إن علم البيئة بصفة عامة يضيف إلى معلوماتنا عن الطبيعة، وهو علم أساسى وضرورى لاتخاذ الإجراءات البيئية وإدارة البيئة وحفظ الأنواع... إلخ (Dong, 1996).

وبالرغم من الجهود المبذولة فى هذا المجال فإن علم البيئة يفتقر إلى القوانين العامة والمبادئ والفرضيات الأساسية. إن العديد من المشاهدات البيئية تنحصر فى توقيت معين ومكان معين، ومن ثم فإن الفرضيات والنماذج البيئية لم تنجح فى التطبيق أو التنبؤ فى الكثير من الأحوال وسوف نذكر مقولتين فى هذا المجال:

"Ecology is considered as more a postdictive rather than a predictive science and is regarded as a soft science" (Peters, 1992)"

وهذه العبارة تعنى ببساطة، أن التنبؤ بالأحداث المستقبلية فى البيئة لم يصل إلى الواقعية وأن علم البيئة لا يزال علما واهنا.

وسوف نذكر أيضا مقولة لادويج وآخرون

"Ecology still deals with a high level of uncertainty (Ludwig et al, 1993)"





أى أن علم البيئة يخضع لمستوى عال من الريبة، وقد أدى ذلك فى النهاية إلى أن علم البيئة يلاقى نجاحا محدودا فى التطبيق على مستوى إدارة البيئة (Breckling and Dong, 2000).

إن العبارات السابقة لا يمكن الاعتداد بها تماما، فهى تأملات أكثر منها واقعا. إن المعارف البيئية أدت بالفعل إلى تغير واضح فى الأنماط السلوكية للجنس البشرى، ولكن ينبغى أن نذكر، وبالرغم مما قدمه للبشرية من خدمات، إن علم البيئة لا يزال فى مرحلة تعض (تكامل الأعضاء) غير واضحة المعالم حتى الآن نظراً لتداخل هذا العلم مع العديد من العلوم الإنسانية والتجريبية.

لقد خرج علم البيئة من إطار العلوم الوصفية وتنامى ليصبح علما كميا بعد نجاح النماذج الكمية فى علم الفيزياء، ولكن الفيزياء والبيئة علمان مختلفان تماماً من حيث الموضوعات التى يدرسها كل علم منهما. ومن ثم فقد ذكر (Breckling and Dong, 2000) أنهما يعتقدان أن طبيعة الشك أو الريبة تختلف فى علم الفيزياء عنها فى علم البيئة، فالريبة فى علم البيئة تتعلق بظواهر حيوية أو - بيولوچية - ومن ثم فإن إزالة الشك تماما من النماذج أو النظريات البيئية بشكل تام غير ممكن ولكن يمكن تقليص الشك إلى أقصى حد ممكن، وهذا يتطلب ضرورة وجود إستراتيجيات وتقنيات لتقليص الشك فى النماذج البيئية حتى يمكن تطبيقها فى عمليات إدارة البيئة واتخاذ القرار حيث إن أحد الأهداف العامة للعلم هو خفض درجة الشك فى الحقائق التى يتم التوصل إليها.

إننا بحاجة إلى معرفة مصادر الشك وأنماط الريبة التى يواجهها علم البيئة الحالى. تستخدم النماذج الرياضية كأدوات كمية فى علم البيئة، وهناك العديد من أنواع النماذج مثل النماذج التحليلية والإحصائية والتنبؤية. . .إلخ، وكل نوع من تلك النماذج ينتابه قدر معين من الشك أو الريبة.

**ب - مفهوم الشك The concept of Uncertainty:**

تشير الريبة أو الشك إلى درجة عدم الأمان أو الرضا بخصوص بعض المعلومات أو التوقعات. إن أى موضوع أو معلومة توضع تحت مظلة الشك عندما تكون غير معروفة تماما أو غير محددة (Prigogine and Stengers, 1984; Lemons, 1996).





إن المعنى المحدد لكلمة الريبة أو الشك يختلف تبعا للموقف ويعتمد على موضوع الدراسة ولكن قدرة النماذج العلمية على التنبؤ وتحديد تكرار الظواهر تعد معيارًا أساسيا لنجاح النموذج أو الفرضية، ويعتمد التنبؤ بالظواهر المستقبلية أو تكرار الظواهر الحالية على المعلومات السابقة والظواهر أو المشاهدات الحالية التى تم رصدها وتسجيلها.

يمكن اعتبار الظاهرة قابلة للتكرار إذا أمكن تكرارها تحت سيطرتنا، أما الحدث غير القابل للتكرار فهو حدث غير متكرر أى حدث فريد يحدث مرة واحدة، ولكن العلم لا يمكن أن يختبر صحة الفرضيات عن موضوع معين إذا حدث مرة واحدة بدون تكرار. إن مبدأ الشك ظهر كمحصلة لعدم القدرة على التنبؤ Unpredictability ببعض الظواهر وعدم تكرار Irreproducibility بعض الظواهر الأخرى، والمشكلة هى أن العلم يهدف إلى الانتظام. فالعلم فى جوهره تنظيم للحقائق، والحقائق لا تبنى على مؤشرات غير موثوقة.

إن عدم الانتظام والاختلاف، وعدم التكرار وعدم القدرة على التنبؤ من الخصائص المميزة لعلم البيئة نتيجة شدة التعقيد التى تميز الظواهر البيولوجية وأنماط العلاقة بين الكائن الحى وبيئته، ومن ثم فإنه يمكن إزالة بعض الريبة من النماذج أو الفرضيات البيئية ويمكن معرفة أو حساب البعض الآخر، ولكن فى بعض الأحوال، لا يمكن «خفض» أو «حساب» درجة الريبة أو الشك فى النماذج البيئية.

**جـ - الشك فى النماذج البيئية Uncertainty in Ecological Models:**

تعتبر النماذج الرياضية أدوات كمية لتحليل وانتظام المعلومات البيئية ووصف النظام البيئى وتقييم العمليات البيئية وتعريف أو تحديد العلاقات والروابط بين عناصر النظام البيئى، بالإضافة إلى تفسير الظواهر ووضع الفرضيات والتنبؤ بالأحداث المستقبلية (Jorgensen, 1988; DeAngelis, 1992).

عادة ما تركز النماذج البيئية على مستوى معين من التكامل دون العديد من المتغيرات حيث تفترض ثبوتها أو عدم علاقتها بمتغيرات النموذج، حيث نجد أن





العـديد من النمـاذج توجـد عـلاقات بين الدوال أو المتغيـرات على مسـتوى معـين وتفترض أن المسـتويات الأدنى تقع تحت مـسمى (ثبات العـوامل الأخرى) (Every thing else constant).

إن العمل بمبدأ الريبة أو الشك عند وضع النماذج البيئـية يعتبر مجالا هاما، ولكن لم يحظ بالاهتـمـام الكافى من البـاحثـين حـتى الآن بالرغم من أهمـيتـه (Muller, 1996; Breckling ad Dong, 2000).

ومن تطورات تطبـيق فكرة ميكانيكا الكم فى علم البـيئـة تعريف (Patten, 1982) للجزىء الأول للبـيئة Elementary Particle of Environmnt والذى أطلق عليه تسمية إينفيرون "Environ" وقد عرف الإينفيرون على أنه «وحدة النظام البيئى التى لها القـدرة على تحويل المدخلات إلى مخـرجات» "A unit which is able to tranfer an input to an output" حيث إن الإشارات الداخلة (المدخـلات) تستقبل بواسطة الإينفـيـرون ثم تتـرجم وتتـحـول إلى إشـارات تخـرج من الإينفـيـرون (مخرجات) ويجب عدم الخلط بين مفهوم الجزىء الأولى للبيئة «إينفيرون» والخلية الحية، حيث إن الإينفيرون يعتبر قيمة نسبية.

سوف نعطى الآن مثـالا لإيضاح أن الشك فى علم البيئـة لا ينتج فقط عن نقص المعلومات التفصيلية، ولكن قد ينشأ عن تغير أحد المعايير مما يؤدى إلى تغير جذرى فى الاسـتنتاج الذى يمكن الوصـول إليه، ونقـدم المثال من خـلال دراسة (Breckling, 1992) حيث قدم نموذجـا لتصوير التفاعل بين آهلات (عـشائر) أحد العـوائل ونوعين من المفتـرسات على هذا العـائل والصفـات التى بنى عليهـا هذا النموذج المجرد Abstract model هى صفات أو خصائص المفترس من حيث:

١ - القدرة على الانتشار (Disperal ability).

٢ - القدرة على الاستيطان فى البيئة (Colonization ability).

٣ - قدرة السعى للحصول على العائل (Foraging ability).

وتتفاعل آهلات الأنواع الثلاثة (نوعان مـن المفترسات ونوع من العوائل التى تتغذى عليها تلـك المفترسات) فى بقع متباعدة من البيـئة، حيث يمكن أن يحدث



اختفاء أو انقراض أحد الأنواع من البيئة، ويلى ذلك إعادة استيطان ذلك النوع أو بمعنى آخر وجود توازن بين الاختفاء وإعادة الاستيطان Disappearance & Recolonization.

إن التداخل بين الصفات الفردية وأنماط ديناميكية الأهلات والاختفاء وإعادة الاستعمار على مستوى ما وراء الأهلات (Metapopulation level) يؤدى إلى حدوث تداخلات متعددة المستويات مثل اختلاف قدرات البحث عن العائل فى كلا نوعى المفترس واستعداد كل نوع من نوعى المفترس للاستيطان أو الاستعمار فى البيئية، وتوضح أشكال (٣-٥) بعض نتائج النموذج، وتجدر الإشارة إلى أن التركيب المكانى للبيئة (حيث إن البيئة الصالحة للاستيطان تتكون من رقع متباعدة) لا يمكن أن يعطينا استنتاجا مباشرا من خلال نماذج لوتكا ـ فولتيرا للتنافس (Liotka - Voltera competition of organisms) إلى المستويات العالية من التكامل (استمرار الأهلات/ العشائر).

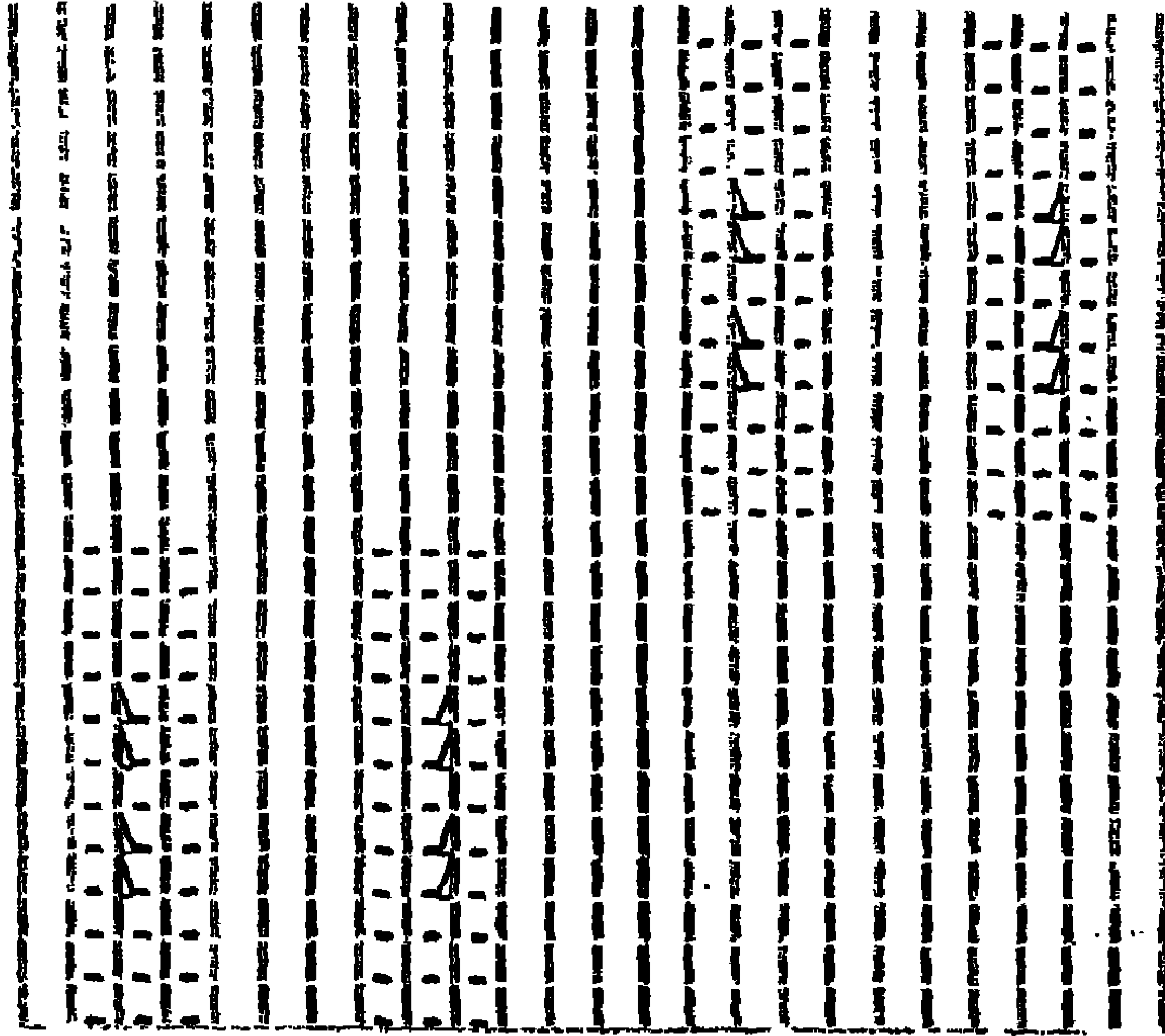
فإذا تجاهلنا التركيب الفراغى للبيئة، فسوف نجد أن النوع الأضعف فى البحث عن الفريسة سوف يتم التغلب عليه فى التنافس كما هو موضح فى شكل ٤أ، شكل ٤ ب حيث يشار إلى المفترس الأضعف فى القدرة على السعى باسم مفترس رقم (٢) pred. 2.

ذكرنا فى الفقرة السابقة أن النموذج تجاهل التركيب الفراغى للبيئة، والآن وعلى مستوى آخر من التفاعلات حيث نضع التركيب الفراغى للبيئة فى الاعتبار، وسوف نجد أن المفترس الأعلى فى قدرته على البحث عن الفريسة سوف ينقرض ويستمر المفترس الأقل فى القدرة البحثية، حيث إن المفترس الأكثر كفاءة سوف يقضى على آهلات العائل فى وقت قصير، ويموت المفترس فى النهاية ويحدث الانقراض نتيجة سرعته فى القضاء على أفراد العائل أى ينقرض قبل أن يتوافر لديه الوقت لإعادة استيطان بقعة جديدة فى البيئة نتيجة عدم الحصول على الغذاء (شكل ٥أ، ٥ب) وكنتيجة طبيعية يتغلب المفترس الأضعف مفترس (٢)، Pred. 2 على المفترس الأكثر قدرة (مفترس ١) Pred. 1 بسبب قدرة المفترس الأضعف على كسب الوقت للاستيطان فى بقعة جديدة.





من أشكال (٣-٥) ومن المناقشة السابقة يتضح أن تغيير عامل وحيد وهو قدرة آهلات العائل على الاستيطان يؤدى إلى حدوث سيناريوهات متضاربة مما يؤدى فى النهاية إلى نتيجتين على طرفى نقيض إذا تم تجاهل أو تغيير عامل واحد، وهو فى هذه الحالة، قدرة آهلات العائل على الاستيطان (أشكال ٣-٥).



شكل(٣) الظروف الأولية للنموذج.

توضح الخطوط الأفقية الصغيرة انتشار آهلات العائل على شكل بقع فى البيئة.

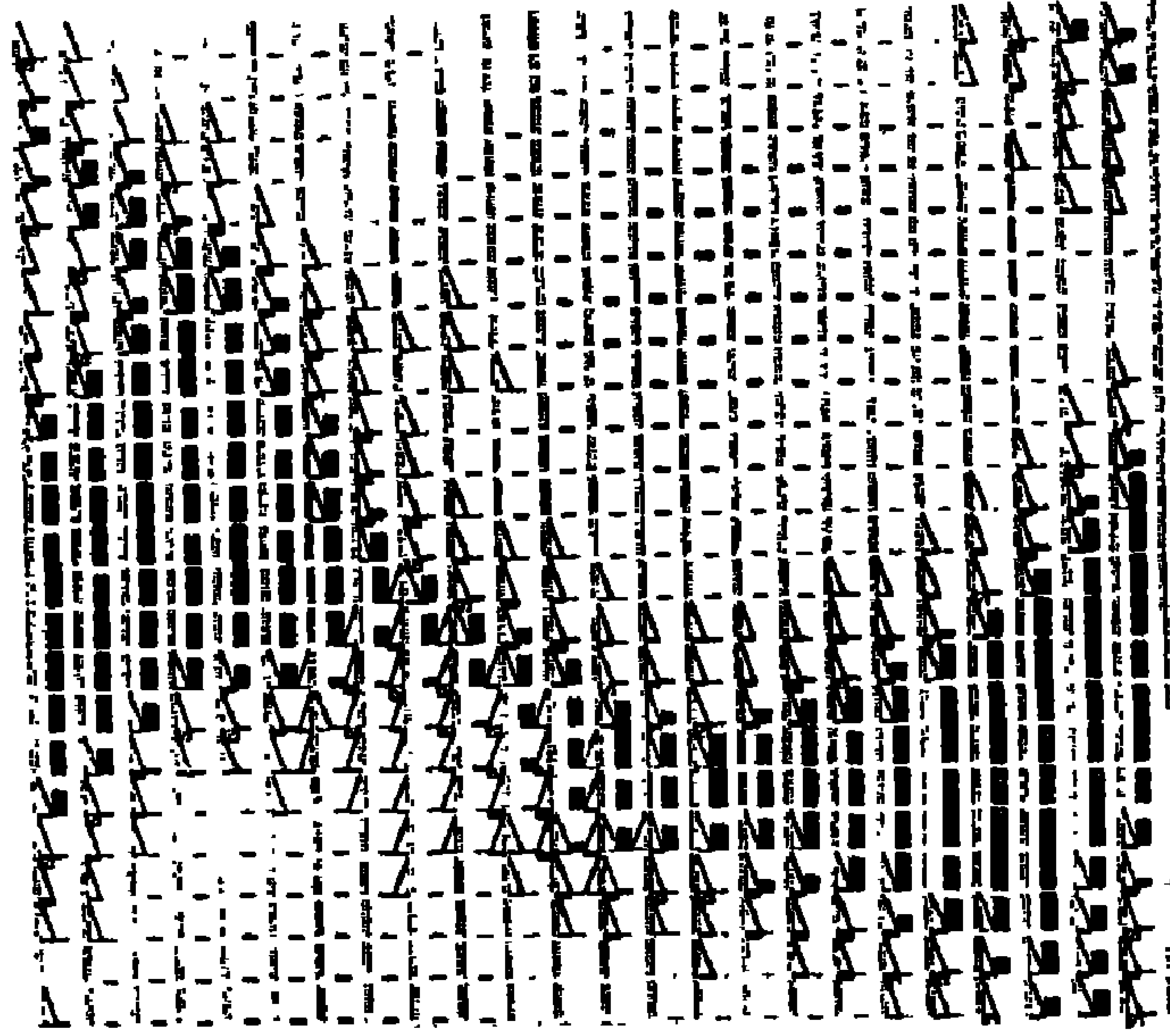
مفترس (١) (Pred. 1) يتميز بقدرة عالية على السعى (البحث عن الفريسة) ويشار إليه بخيوط مائلة إلى اليسار.

مفترس (٢) (Pred. 2) يتميز بقدرة أقل على السعى (البحث عن الفريسة) ويشار إليه بخطوط مائلة إلى اليمين.

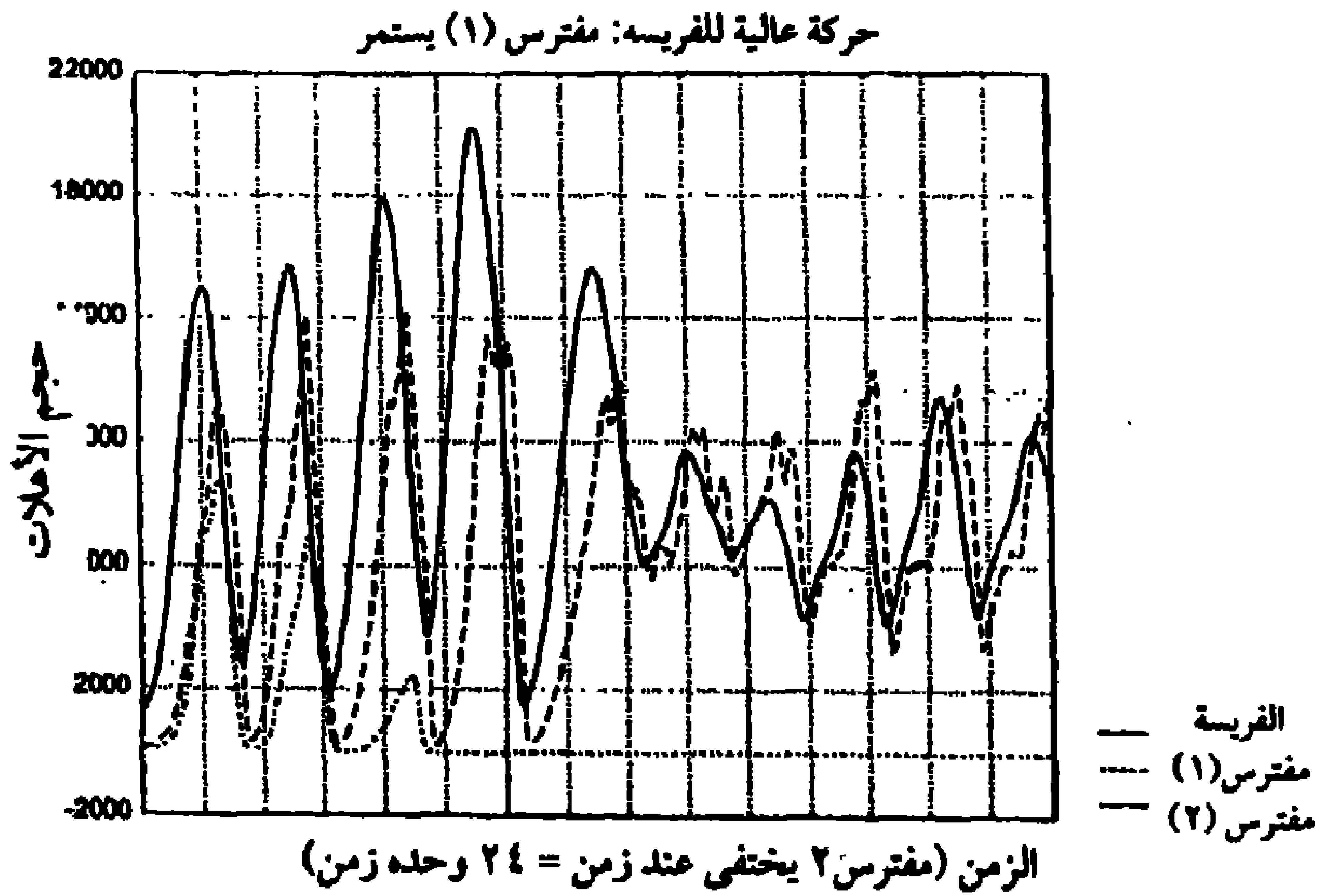
وسوف نتابع السيناريوهات المتوقعة للبقاء أو الاختفاء لكلا المفترسين مع تغيير عامل واحد وهو قدرة العائل على الانتشار فى شكل (٤)، (٥) .







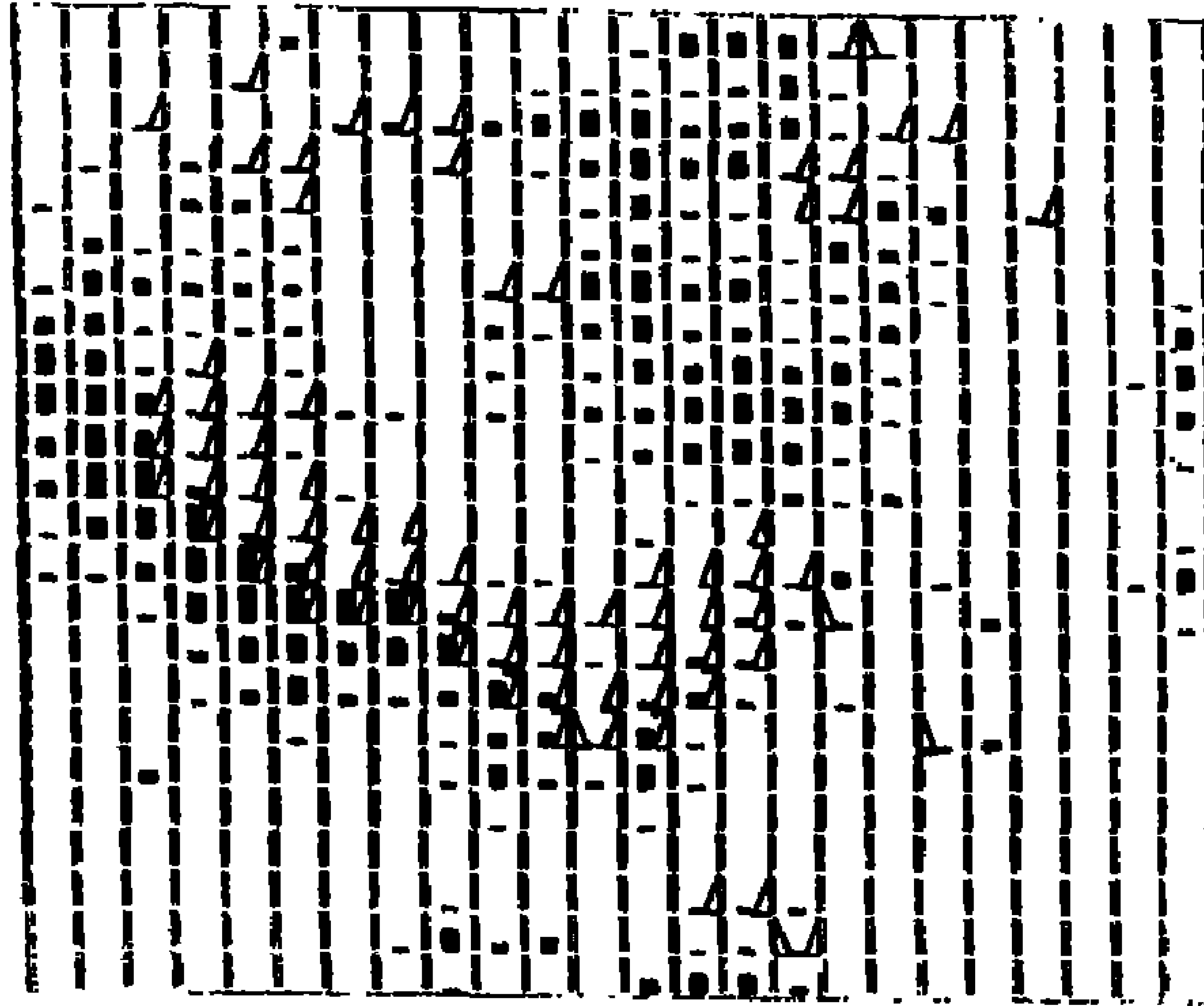
شكل (٤أ) سيناريو فى حالة معدل عال لاستيطان الفريسة بعد فترة زمنية معينة من التنافس مع ملاحظة أن مفترس (٢) (Pred. 2) له فقط نصف قدرة السعى للحصول على الفريسة (الغذاء) بالمقارنة إلى مفترس (١) (Pred.1)، سوف يتغلب المفترس الأكثر قدرة (مفترس ١) على المفترس الأقل قدرة (مفترس ٢) والذى سوف يختفى فى النهاية من البيئة.



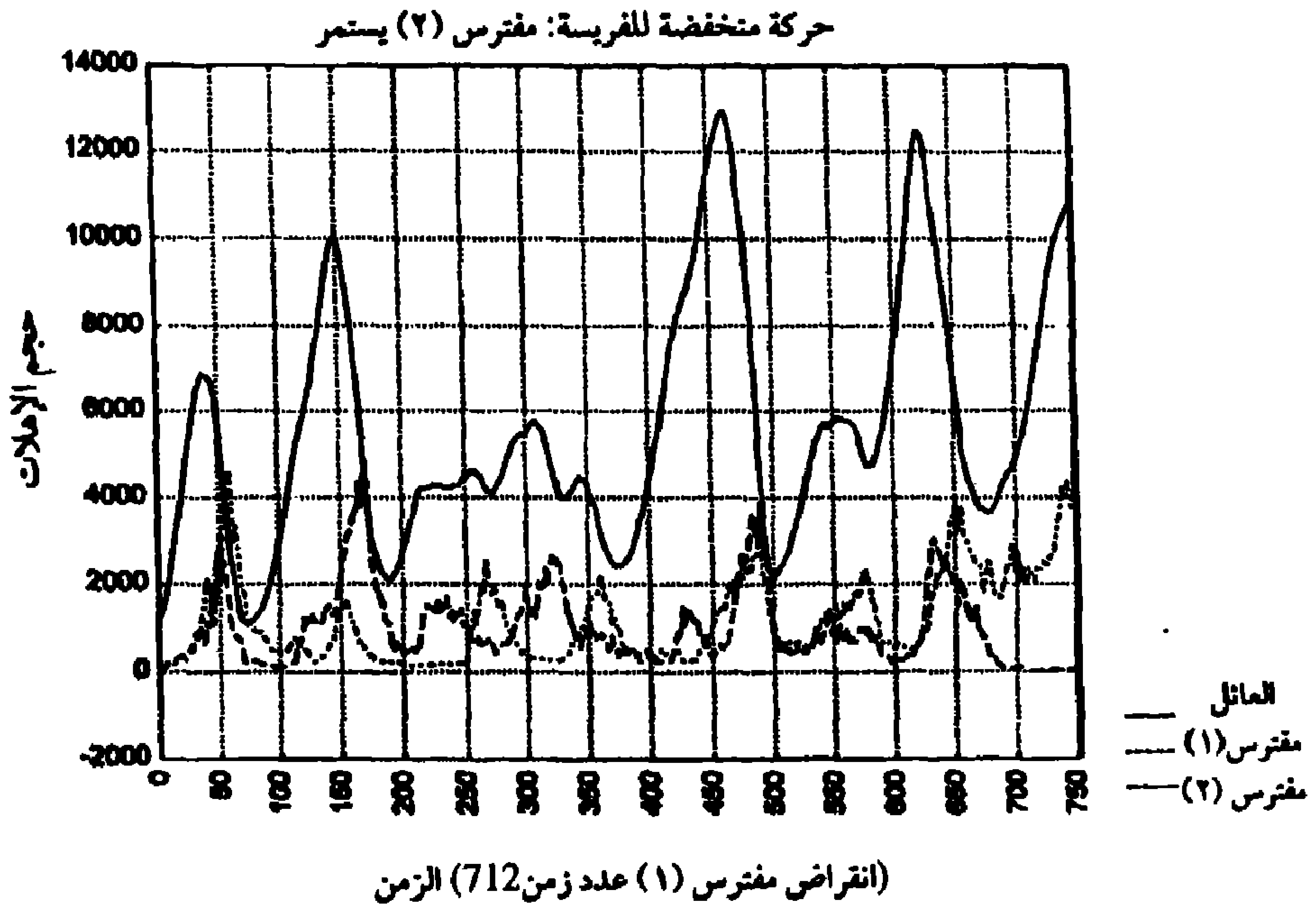

شكل (٤ب) تغير كثافة الأهلات مع الزمن ويلاحظ من الشكل أن مفترس (١) يستمر بينما يختفى مفترس (٢).



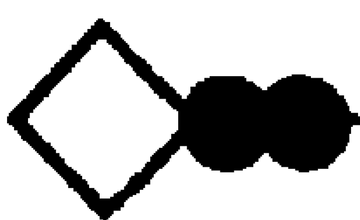




شكل (٥أ) سيناريو فى حالة معدل بطىء لاستيطان الفريسة (تغير مقياس وحيد فى النموذج). يلاحظ أن نمط انتشار الفريسة يتغير عن الشكل السابق نتيجة بطء معدل الاستيطان. وحيث إن كفاءة السعى للمفترس (٢) نصف كفاءة السعى للمفترس (١) فسوف نجد أن المفترس الأضعف يترك وقتا كافيا للفريسة للانتشار. أما مفترس (١) (الأكثر كفاءة) فسوف يستنزف الفريسة فى وقت أقصر ولا يسمح لها بالانتشار أو إعادة الاستيطان فى الأماكن التى اختفت منها. أخيرا يستمر المفترس الأضعف ويختفى الأقوى.




شكل (٥ب) تغير كثافة الأهلات مع الزمن ويلاحظ من الشكل عكس النتيجة فى شكل (٤)، أى مفترس (٢) يستمر، ويختفى مفترس (١).





- مراجع مختارة:

**Allen, T. H. F and T. B. Starr, 1982.** Hierarchy-perspectives for ecological complexity. Chicago (University of Chicago Press).

**Boyce, S. G. 1995.** Lamdscape Forestry, John wily & sons.

**Breckling, B., 1991.** Variabilitat, Kontext-Spezifitat und Vorhersagbarkeit imm Individuenorientierten Modell. Verhandlungen der Gesellschaft fur Okologie 20: 803-813 (Variability, context-specifity and perdictability in individual based modeling; in German).

**Breckling, B., 1992.** Uniqueness of ecosystems versus generalizability and predictability in ecology. Ecological Modeling 63 :13-27.

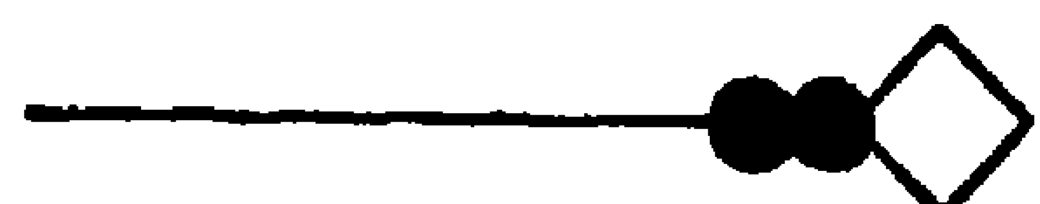
**Breckling, Band Dong, Q.2000.** Uncertainty in ecology and ecological modeling. In jorgensen, S.E. and Muller. F. Handbook of ecosystem theories and Management. Lewis Publishers. Baco Raton London New york Washington, D.C.

**Breckling, B. and H. Reuter, 1996.** The use of individual based models to study the interaction of different levels of organization in ecological systems. Senckenbergiana maritima 27 (3/6): 195-202.

**Boverton, R. J. H. And S. J. Holt, 1957.** On the dynamics of exploited fish populations. Ministry of agriculture. Fisheries and food (London) Fisheries investigating series 2 (19).

**Browder, J. A., P. J. Gleason, and D. R. Swift, 1994.** Periphyton in the Everglades: spatial variation, environmental correlates, and ecological implications. In: S. N. Davis and J. C. Odgen,





(Eds.). Everglades: the ecosystem and its restoration. Boca Raton (St. Lucie Press).

**Carpenter, S. R., 1996.** Microcosm experiments have limited relevance for community and ecosystem ecology. Ecology 77: 67-680.

**Carson, R. 1962**. Silent Spring. New York.

**Costanza, R. And F. H. Sklar, 1985**. Articulation, accuracy, and effectiveness of mathematical models: a review of freshwater wetland applications. Ecological Modeling 27: 45-69.

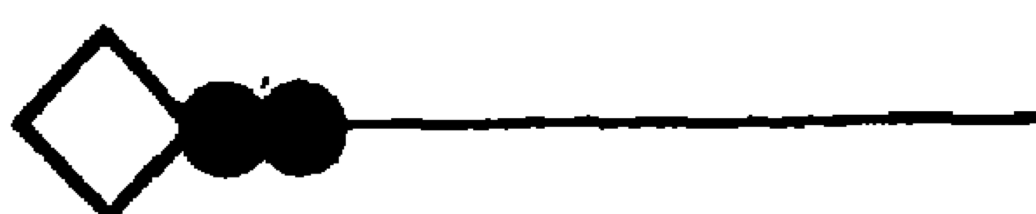
**Crawley, M. J., 1987**. What makes a community invasible? In: A. J. Gary, M. J. Crawely, and P. J. Edwards, (Eds.). Colonization, Succession and Stabiligy. 26th Symposium of British Ecological Society p. 429-453.

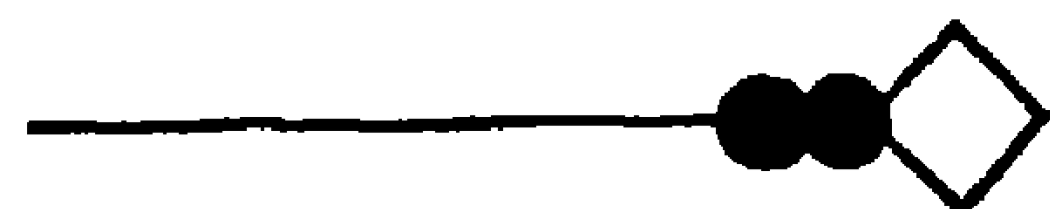
**DeAngelis, D. L. And L. Gross, 1992**. Individual-Based Models and Approaches is Ecology-Populations. Communities and Ecosystems. London, New York (Chapman and Hall).

**DeAngelis, D. L., 1992**. Mathematics: A bookkeeping tool or a means of deeper understanding of ecological systems. Verhandlungen der Gesellschaft fur Okologie 21: 9-13.

**Dong, Q. And D. L. DeAngelis, 1998**. Population consequences of cannibalism and competition for food in a smallmouth bass population: an individual-based modeling study. Transactions of the American Fisheries Society 127 (2): 173-191.

**Dong, Q. And G. A. Polis, 1992**. The Dynamics of Cannibalistic Populations: A Foraging Perspective. 1992. In: M. A. Elgar and B. J. Crespi, (Eds.). The Ecology and Evolution of Cannibalism. Oxford (Oxford University Press) p. 13-37.





**Dong, Q., 1996**. Current state and trend of ecological studies in the western countries. Acta Ecologica Sinica 16 (3): 314-324 (Chinese with English abstract).

**Ekschmitt, K., B. Breckling, and Karin Mathes, 1996**. Unsicherheit und Ungewissheit bei der Erfassung und Prognose von Okosystemen. Verhandlungen der Gesellschaft fur Okologie 25: 495-500 (Sources of uncertainty and ignorance in the record and prognosis of ecosystem development, in German).

**Frank, K. T. And W. C. Leggett, 1994**. Fisheries ecology in the context of ecological and evolutionary theory. Annual Review of Ecology and Systematics 25: 401-422.

**Gardner, R. H., R. V. O'Neill, J. B. Mankin, and D. Kumar, 1980**. Comparative error analysis of six predator-prey models. Ecology 61 (2): 323-332.

**Gauch, Jr. H. G., 1993**. Prediction, parsimony and noise. American Scientist 81: 468-478.

**Haefner, J. W., 1996**. Modeling biologican systems, principles and applications. New York (Chapman and Hall).

**Hall, C. A. S., 1988**. An assessment of several of the historically most influential theoretical models used in ecology and of the data provided in their support. Ecological Modeling 43: 5-31.

**Hall, C. A. S. And D. L. DeAngelis, 1985**. Models in ecology: paradigm found or paradigm lost? Bulletin of Ecological Society of America 66: 339-346.



**Hilborn, R. And D. Ludwig, 1993**. The limits of applied ecological research. Ecological Applications 3(4): 550-552.

**Hilborn, R. And M. Mangel, 1997**. The ecological detective, confronting models with data. Princeton, New Jersey (Princeton University Press).

**Hutlbert, S. H., 1984**. Pseudoreplication and the design of ecological field experiments. Ecological Monographs 54: 187-221.

**Jax et al. 1993**. UBA-texte 47. Berlin

**Jones, C. G. And J. H. Lawton (Eds.). 1995**. Linking species and ecosystems. New York (Chapman and hall).

**Jorgensen,S.E., 1988**. Fundamentals of ecological modeling. Amsterdam (Elsevier).

**Jorgensen, S.E. 1999a**. Fundamentals of ecological modeling (second edition). In: Development of ecological modeling. 19, Elsevier, Amestrdam, 628.

**Jorgensen, S.E. 1994b**. models as instruments for combination of ecological of ecological theory and environmental Practics. Ecol. modeling 75/76: 5-20.

**Jorgensen, S.E. and Muller, F.2000.** Ecosystems as complex systems. In Jorgensen, S.E.and Muller,F.(eds). Handbook of Ecosystem Theories and Managment. Lewis Publishers. Boca Raton London New york Washington, D.C.

**Klotzli, F. 1993a**. Okosysteme: Aufbau, Funktionen, Storungen. Stuttgart.

**Klotzli, F. 1993b**. Okosysteme. In: Kuttler, W. (Hrsg.) Handbuch zur Okologie. Berlin. 288-295.





**Koestler, A., 1967**. The Ghost in the Machine. Macmillan, New York.

**Krebs, C. J., 1978**. Ecology: the experimental analysis of distribution and abundance (2nd ed.). New York, (Harper and Row).

**Lemons, J. (Ed.) 1996**. Scientific Uncertainty and Environmental Problem Solving. Cambridge (Mass) (Blackwell).

**Loehle, C., 1983**. Evaluation of theories and calculation tools in ecology. Ecological Modelling 19: 239-247.

**Lotka, A. J., 1924**. Elements of Physical Biology. Baltimore (Williams and Wilkins).

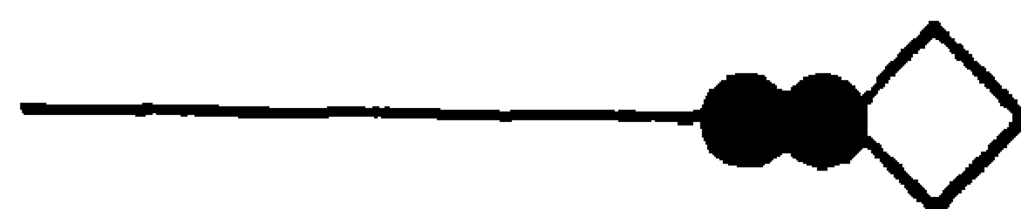
**Lubchenco, J., 1998**. Entering the century of the environment: a new social contract for science. Science 279: 491-497.

**Lubehenco, J., A. M. Olson, L. B. Brubaker, S. R. Carpenter, M. M. Holland, S. P. Hubbell, S. A. Levin, J. A. MacMahon, P. A. Matson, J. M. Melillo, H. A. Mooney, C. H. Peterson, H. R. Pulliam, L. A. Real, P. J. Regal, P. G. Risser, 1991**. The sustainable biosphere initiative: an ecological research agenda. Ecology 72(2): 371-412.

**Ludwig, D. and C. J. Walters, 1985**. Are age structured models appropriate for catch-effort data? Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 42: 1066-1072.

**Ludwing, D., R. Hillborn, and C. Walters, 1993**. Uncertainty, resource exploitation, and conservation: Lessons from history. Science 260: 17-36 (2. Apr. 1993).





**May, R., 1974**. Biological populations with non-overlapping generations: Stable points, stable cycles, and chaos. Science 186:645-647.

**May, R., 1979**. Theoretical ecology, principles and applications. Cambridge (Mass.) (Blackwell).

**McCormick, P. V. and L. J. Scinto**. Influence of phosphorus loading on wetlands periohyton assemblages: a case study from the Evergaldes. In: K. R. Reddy, (Ed.). Phosphorus Biogeochemistry in Florida Ecosystems.

**McCullough, D. R., 1992** . Concepts of large herbivore population dynamics. In: D. R. McCullough and R. H. Barret, (Ed.). Wildlife 2001: populations. London (Elsevier Applied Science). P. 967-984.

**Meadows, D. H., D. L. Medows, J. Randers, and W. W. Behrens, 1972**. The Limits to Growth: A Report for the Club of Rome's Project on the Predicament of Mankind. Earth Island, London.

**Muller, F., 1996**. Emergent properties of ecosystem-consequences of self-organizing processes? Senckenbergiana maritima 27 (6/3): 151-168.

**Muller, F., 1997**. Hierarchical approaches to ecosystem. Ecol. Modelling 63: 215-242.

**O'Neill, R. V., D. L. DeAngelis, T. F. H. Allen, and J. B. Waide, 1986**. A hierachical concept of ecosystems. Monographs in Population Biology 23. Princeton, NJ (Princeton University Press).





**O'Neill, R. V. and R. H. Gardner, 1979**. Sources of uncertainty in ecological models. In: B. P. Zeigler, M. S. Elizas, G. J. Klir, and H. I. Oren, (Eds.). Methodology in systems modeling and simulation. Amsterdam (North-Holland Publishing Co.). p. 447-463.

**Odum, E. P. 1969**. The strategy of ecosystem development. Science 164:262-270.

**Odum, E. P. 1985**. Trends expected in stressed ecosystem. Bioscience 35 (7): 419-422.

**Odum, E. P. 1995**. Prodile analysis and some thoughts on the development of interface area of environmental health. Ecosystem health 1(1): 41-45.

**Odum, H. T., 1983**. Systems ecology: An introduction. New York, Wiley.

**Odum, H. T. 1969**. Ecological potential, Amer. Scient. 48: 1-8.

**Pahl-Wostl, Claudia, 1995**. The dynamic nature of ecosystems-Chaos and order entwind. Nw York, Wiley.

**Peters, R. H., 1992**. A Critique for Ecology. Cambridge (Cambridge University Press).

**Prigogine, I., 1982**. Vom Sein zum Werden-Zeit und Komplexitat in den Naturwissenschaften (3rd ed.). Munchen (Piper). Orig.: From being to becoming-Time and complexity in Physical sciences.





**Prigogine, I. and Isbelle Stenger, 1984**. Order out of Chaos, Man's new dialogue with nature. New York (Bantam).

**Ribble, C. et al, 1997**. Ecosystem health as a chnical rotation for senior veterinary students in Csnsdian veterinary schools. Canadian Veterinary Journal. (38): 485-490.

**Ricker, W. E., 1954**. Stock and recruitment. Journal of the Gisheries Research Board of Canada 11: 559-623.

**Roughgarden, J., R. M. May, and S. A. Levin (Eds.). 1989**. Perspectives in Ecological Theory. Princeton, NJ (Princeton University Press).

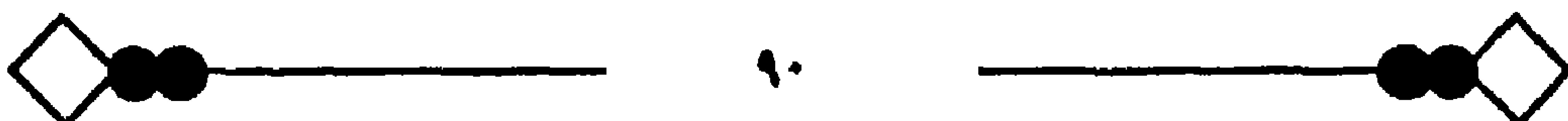
**Shepherd, J. G. and D. H. Cushing, 1990**. Regulation in fish populations: myth or mirage? Philosophical Transactions of the Royal Society of Landon B 330: 151-164.

**Toffoli, T. and N. Margouls, 1987** . Cellular automata machines. Cambridge (Mass.), London (MIT Press).

**Tolba, M. K., O. A. El-Koly, E. El-Hinnawi, M. W. Holdgate, D. F. McMichael, and R. E. Munn, 1992**. The World Environment 1992-1992. Chapman & Hall, London.

**Van Dyne, G. M. 1966**. Ecosystems, Systems and Systems Ecologists. ORNL 39 3957. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 40.

**Van Dyne, G. M. 1969a**. Grasslands Management Research, and Training Viewed ina Stems Context. Range Science Department, Science Series, No 3. Colorado State University, Fort Collins, Colorado 50.



**Van Dyne, G. M. (ed) 1969b**. The Ecosystem Concept in Natural Resource Management. Academic Press. New York. 383.

**Vitousek, P. M., and W. A. Reiners, 1975**. Ecosystem succession and nutrient retention: a hypothesis. BioScience 25: 376-381.

**Vitousek, P. M., H. A. Mooney, J. Lubchenco, and J. M. Melillo, 1997**. Human Domination of Earth's Ecosystems. Science, Vol 277 (25 July 1997) 494-499.

**Waltner-Toews, D. 1996**. Ecosystem health: A framework for implementing sustainability in agriculture. Bioscience. 46:686-690.

**Watt, K. E. F. 1968**. Ecology and Resource Management. McGraw Hill, New York 450.

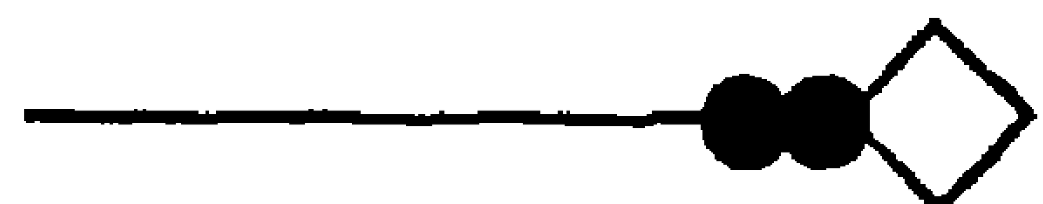
**Volterra, V., 1926**. Variations and fluctions of the number of individuals in animal soecies living together. Reprinted in: R. N. Chapman, 1931. Animal Ecology, New York (McGraw Hill).

**Webster, N., 1983**. Webster's New Twentieth Century Dictionary (2nd ed). New York (Simon and Schuster).

**Werner, E. E. and J. F. Gilliam, 1984**. The ontogenetic niche and species interactions in size-structured populations. Ann. Rev. Ecol. System 15: 393-425.

* * *





# الفصل الرابع

## الطاقة فى النظام البيئى



**١- انسياب (سريان) الطاقة.**

أ- المستويات الغذائية وإنتاج الطاقة.

- المحللات.
- العواشب آكلات النبات واللواحم (آكلات اللحوم).
- القورات.

**٢ - السلاسل الغذائية.**

**٣ - الشباك الغذائية.**

**٤ - الأهرام البيئية.**

**٥ - انسياب الطاقة فى المجتمعات الطبيعية.**

**٦ - الإنتاج الابتدائى.**

**٧ - دور اللافقاريات فى انسياب الطاقة.**

- الحفاظ على اللافقاريات من الانقراض.

**٨ - ديناميكية انسياب الطاقة.**

**٩ - الديناميكا الحرارية ونظرية النظام البيئى**

**١٠ - رموز اودام**

**١١ - اسس دراسة حركة الطاقة فى النظام البيئى**

**- مراجع مختارة**

### ١ - انسياب (سريان) الطاقة: Energy Flow

حركـة الطاقة فى النظام البيـئى تختلف عن حركـة المواد الكيميائيـة، حيث يمكن التعبـير عن حركة المواد الكيميـائية مـن خلال «دورات» Biogeochemical Cyclings مثـل دورة النتروجين فى الطبيعة، أما حـركة الطاقة فيمكن تفسيرها من خلال قوانين الديناميكا الحرارية، والتى ينص قانونها الأول على أن الطاقة لا تفنى ولا تستـحدث (أو تخلق من العـدم)، أما القانون الثـانى من الديناميكيـة الحرارية فينص علـى أن الطاقة تتقلص (تـقل) عندما تتحـول من صورة إلى صـورة أخرى نتيـجة فقـد كميـة من هذه الطاقة على شكل حـرارة أثناء التحـوُل من صورة إلى أخرى. وبناء على ذلك نسـتطيع أن نقول أنه عند مرور الغـذاء من كائن حى إلى كائن حى آخر، سوف تضمحل الطاقة الموجودة فى الغذاء أثناء مروره فى السلسلة الغذائية من كل خطـوة إلى الخطوة التى تليها حتى تتشـتت كل الطاقة على شكل حرارة، ومن هنا يتـضح أن الطاقة تنسـاب فى النظام البيئى فى اتجـاه واحد وهذا الاتجاه غيـر عكسى، حيث إن سريان الطاقة لا يكون علـى شكل دورات كما هو الحال فى العناصر الكميائية.

نبات ←(فقد فى الطاقة)← كائن نباتى ←(فقد فى الطاقة)← مفترس على الكائن النباتى ←(فقد فى الطاقة)← أنواع تحلل المفترس بعد موته أو كانسات

وحـتى يقوم النظـام البيـئى لا بد أن تكون هناك مـجمـوعـة من الكائنات المنتـجـة، الكائنات المنتـجة أنواع من الـنباتات الخـضـراء تسـتطيع أن تصنع المواد العضوية (مواد حاملة للطاقة) من مـواد غير عضوية بسيطة، وتوصف تلك الأنواع بأنواع ذاتية التغـذية، وتعتمد باقى الأنواع، على الأنواع ذاتية التغـذية فى الحصول على احتياجاتها من المواد العضوية.

## أ- المستويات الغذائية وإنتاج الطاقة فى الأنظمة البيئية:

**Trophic Levels and Energy Production in Ecosystems**

### الأنواع ذاتية التغذية والإنتاج الابتدائى للطاقة:

**Autotrophs and Primary Production of Energy**

تحتاج جميع الكائنات الحية إلى الطاقة لاستمرار الحياة، وتختلف الكائنات الحية فى طريقة حصولها على الطاقة اللازمة للبقاء والتكاثر، ويمكن تقسيم الكائنات الحية إلى أنواع ذاتية التغذية Autotrophs وأنواع غير ذاتية التغذية Heterotrophs، وتعتمد الكائنات ذاتية التغذية على نفسها فى تخليق المواد العضوية اللازمة لإنتاج الطاقة، بينما تعتمد الأنواع غير ذاتية التغذية على الأنواع الأخرى فى الحصول على الغذاء، حيث إنها لا تستطيع تخليق المواد العضوية اللازمة لإمدادها بالطاقة وتعتمد على مصادر أخرى للحصول على المواد العضوية.

النباتات الخضراء هى الكائنات ذاتية التغذية، فمن المعروف أن النباتات الخضراء تستطيع استغلال الطاقة الضوئية لتحويل المواد العضوية البسيطة إلى مركبات عضوية فى وجود الطاقة الشمسية والكلوروفيل وثانى أكسيد الكربون والماء.

ويمكن تقسيم الكائنات ذاتية التغذية إلى قسمين وهما: أنواع ذاتية التغذية الضوئية Photoautotrophs وتشتمل على النباتات الخضراء المعروفة والطحالب المحتوية على صبغ الكلوروفيل، وهذه النباتات والطحالب تقوم بتحويل المركبات غير العضوية إلى مركبات عضوية فى تفاعل البناء الضوئى الذى يحتاج إلى طاقة الشمس الضوئية وصبغ الكلوروفيل لكى يتم، كما تقوم أنواع البكتيريا مثل بكتيريا الكبريت الخضراء Green sulphur Bacteria بعملية البناء الضوئى.

أما القسم الثانى من الكائنات ذاتية التغذية فيشتمل على الأنواع ذاتية التغذية الكيميائية Chemoautotrohs وتستطيع الأنواع ذاتية التغذية الكيميائية الحصول على الطاقة من أكسدة المواد غير العضوية فى غياب الطاقة الضوئية فيما يعرف بعملية البناء الكيميائى Chemosynthesis والتى تقابل عملية البناء الضوئى

Photosynthesis فى الأنواع ذاتية التغـذية الضوئية، ولبعض الأنواع ذاتيـة التغذية الكيميائيـة أهمية فى دورة النتروجين فى الطبيعـة، بالإضافة إلى أن الكائنات ذاتية التغذية الكيميـائية هي المنتج الرئيسى للطاقة الذى تعتمد عليه صـور الحياة المختلفة فى أعماق البحار والمحيطات فى المناطق التى لا يصلها ضوء الشمس.

١ وتحول الكائنات ذاتية التغذية ثانى أكسيد الكربون والماء إلى جزيئات عضوية كبيرة الحجم وبالطبع يؤدى هذا إلى نمو النبات. وتقاس كمية المواد العضوية الكلية التى صنعـهـا النبـات والمـعروفـة بــ«الإنتـاج الكلى الابتـدائى» Gross Primary Production بمعدل إنتـاج الوزن الجاف من الجسم النبـاتى لكل وحدة مسـاحة فى وحدة الزمن، ولكن جزءا من المادة السنباتية الذى تم إنتاجه يتـحول إلى ماء وثانى أكسيد الكربون أثناء عملية التنفس فى النبات؛ ولذا فالزيادة النهائية فى وزن النبات تعرف بــ «الإنتاج الصافى الابـتدائى» Net Primary Production ويمكن إيضاح ذلك من العلاقة الآتية:

الإنتاج الصافى الابتدائى = الإنتاج الكلى - الفقد نتيجة التنفس.

وتخـتلف المجـتـمـعـات فى الإنتـاج الابتدائـى (جـدول ١)، ويرجع هذا الاختـلاف إلى عـدة عوامل مـثل توافر الماء والعناصـر الغذائيـة فى التربـة وشدة الإضاءة ودرجات الحرارة وغيرها.

**المحللات (الكانسات) Decomposers:**

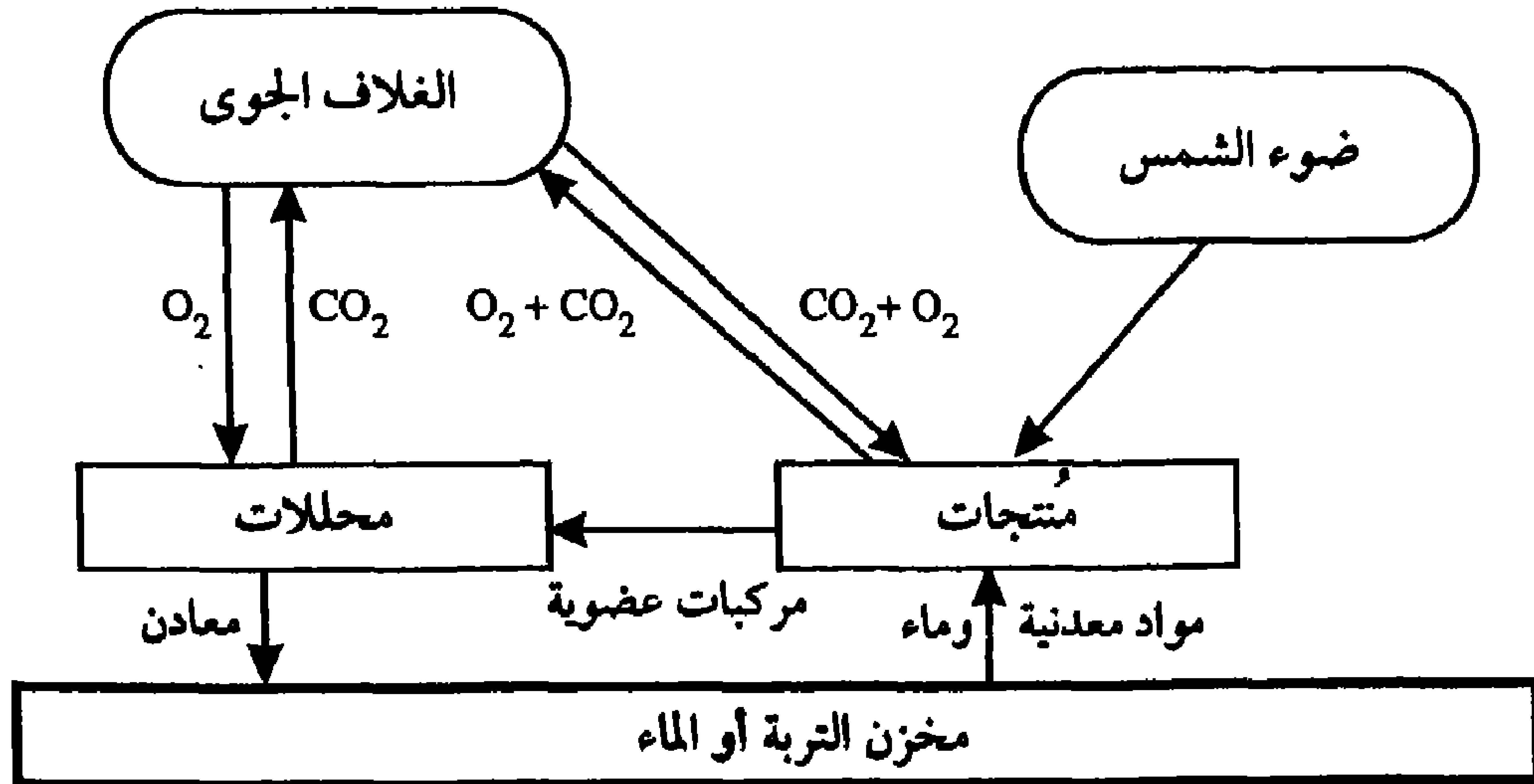
الكانسات تلى المنتجات الرئيـسية فى الأهمية. فبدون المنتجـات الرئيسية أو الكائنات ذاتية التغـذية (النباتات التى تقوم بعمليـة البناء الضوئى وبعض الكائنات الدقيقة التى تـقوم بعملية البناء الكيميـائى) لن تكون هناك حياة، فلن تكون هناك أنواع متغـذية على النبات (عواشب) Herbivores أو أنواع مفـترسة تتـغذى على الأنواع المتغذية على النبات. أما الكانسات أو المحللات فـبدونها سوف تتراكم بقايا الكائنات الحية وسوف تختفى العناصر الغذائيـة اللازمة لنمو النبات مثل الفوسفات والنتـرات وغيـرها، ويوضح شكل (١) أن المـنتجـات الرئيـسيـة والمحللات همـا العنصران الأساسيان لبقاء أى مجتمع من الكائنات الحية.





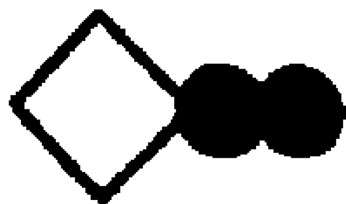
***جدول (١): الإنتاج الصافى الابتدائى فى مجتمعات برية مختلفة معبرا عنه بتراكم المواد العضوية الجافة / لكل متر مربع سنويا عن*** (Whittaker, 1975)

| نوع المجتمع | المساحة $10^6$ كيلو متر مربع | الإنتاج الصافى الابتدائى $10^9$ طن مواد نباتية جافة سنويا |
|---|---|---|
| غابات معتدلة | ١٢ | ١٥ |
| غابات استوائية | ٢٥ | ٥٠ |
| ساڤانا | ١٥ | ١٤ |
| غابات أشجار وشجيرات | ٩ | ٦ |
| أراضى زراعية | ١٤ | ٩ |
| مراعى معتدلة | ٩ | ٥ |
| صحراء/ مناطق شبه صحراوية | ٤٢ | ٢ |




شكل (١)

اعتماد بقاء المجتمعات الحية على المنتجات (Producers) والمحللات أو الكائنات(Decomposers) تقوم بتحليل المركبات العضوية (Organic) للمنتجات وتمد التربة بالمواد والمركبات غير العضوية (Minerals) التى تستخدمها المنتجات فى وجود ضوء الشمس (Sun) وثانى أكسيد الكربون ($Co_2$) لإنتاج المواد العضوية. كما تعمل المحللات على تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى (Atmosphere) وهذا الغاز ضرورى لإتمام عملية البناء الضوئى.





### العواشب آكلات النبات واللواحم (آكلات اللحوم):

Herbivores and Carnivores

بالرغم من سـهولة التـميـيز بين العـواشب Herbivores وآكلات اللـحوم Carnivores إلا أن بعض علماء البيئة يرى أن كل المتـغذيات على النبات والحيوان يمكن اعتباره متطفلا أو مفترسا، فالعواشب يمكن أن تكون مفترسة إذا كانت أكبر حجما من العائل النباتي، وكانت التغذية على النبات قد تؤدى إلى موت النبات أو استهـلاك النبات أو أجزاء كبـيرة منه. وتكون العواشب طفيليـات أو متطفلات إذا اغتـذت على النبات لفتـرات طويلة بدون أن تسبب الموت الفورى للنبـات، وبهذا التعريف يمكن اعتبار أكـثر الثدييات العشبية مفترسات نبـاتية وأكثر أنواع الحشرات المتغذية على النـبات طفيليات نباتيـة، نظرا لأن الثدييات تلتهم الأعـشاب وتقضى عليها فى الحال، أمـا الحشرات فتتغذى على النبـات لفترات طويلة بدون أن تسبب الموت الفورى للعائل النباتي.

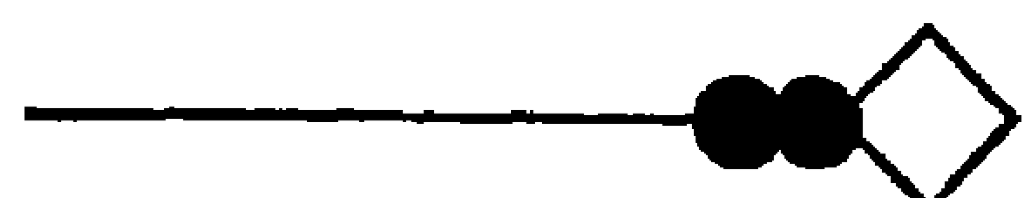
### القورات Omnivores:

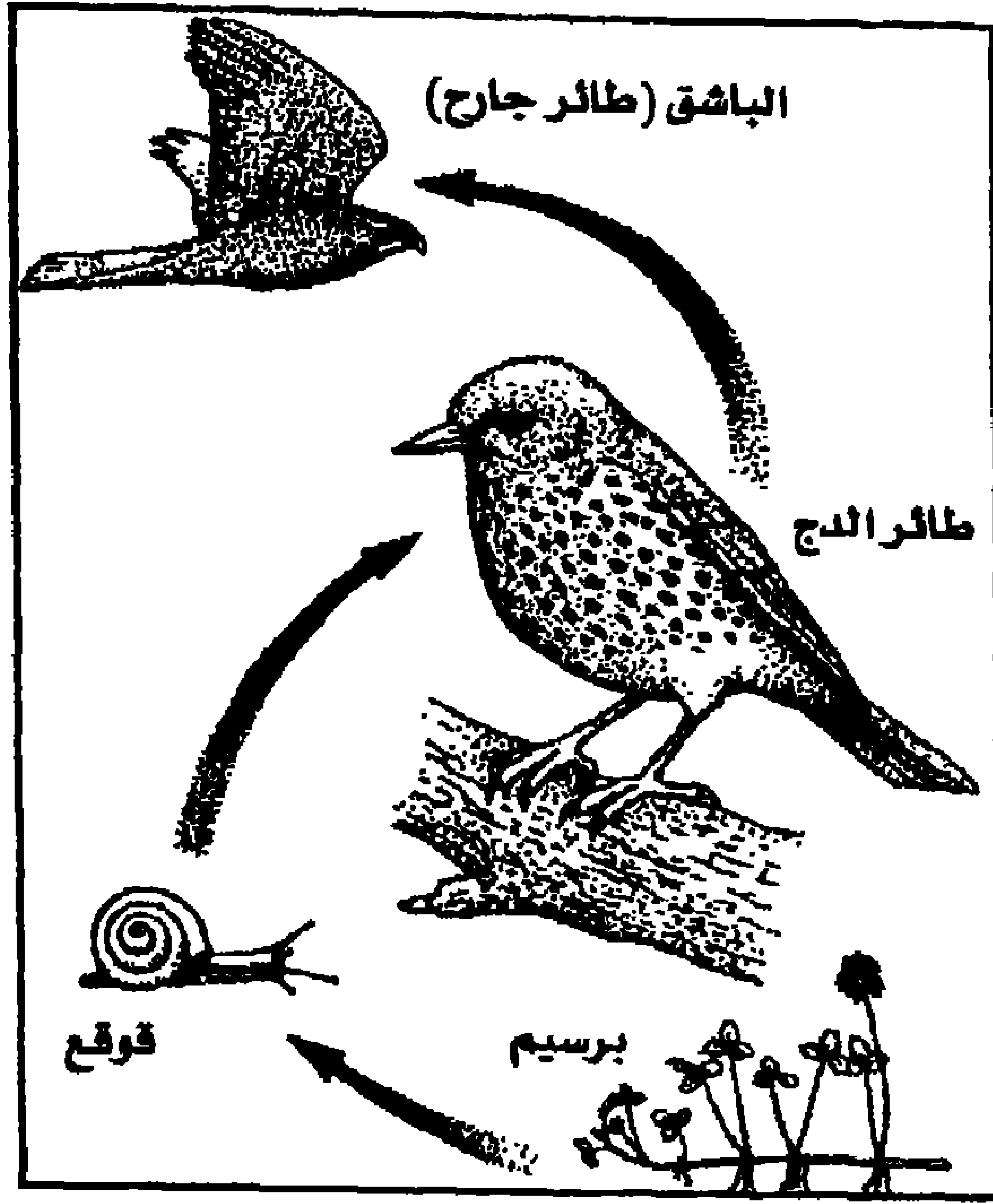
القورات كائنات حية تتغذى على النبـات والحيوان؛ ولذا فالقورات متغذيات عامة Generalists وليست متـخصصة Specialists ويعتبر الصـرصور الأمريكى وأنواع النمل المختلفة والإنسان من أمثلة القورات.

### ٢ - السلاسل الغذائية Food Chains:

السـلاسل الغذائية Food Chains هى محاولة لتحديد مصير الكائن الحى فى النظام البيئى. وعلى سـبيل المثال تظهر سلسلة غذائيـة بسيطة فى شكل (٢) حيث يتغذى أحـد أنواع القواقع Snail على نبات البـرسيم ويفترس أحـد أنواع الطيور القوقع وأخـيرا يلتهم أحد أنواع الصـقور Sparrowhawk الطير الذى تغذى على القوقع. ويلاحظ فى الشكل أن المنتـجات (النبات) توضح أسفل السلسلـة الغذائية وتشير الأسهم إلى المستويات الغذائية المتعاقبة.





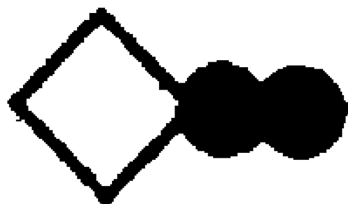


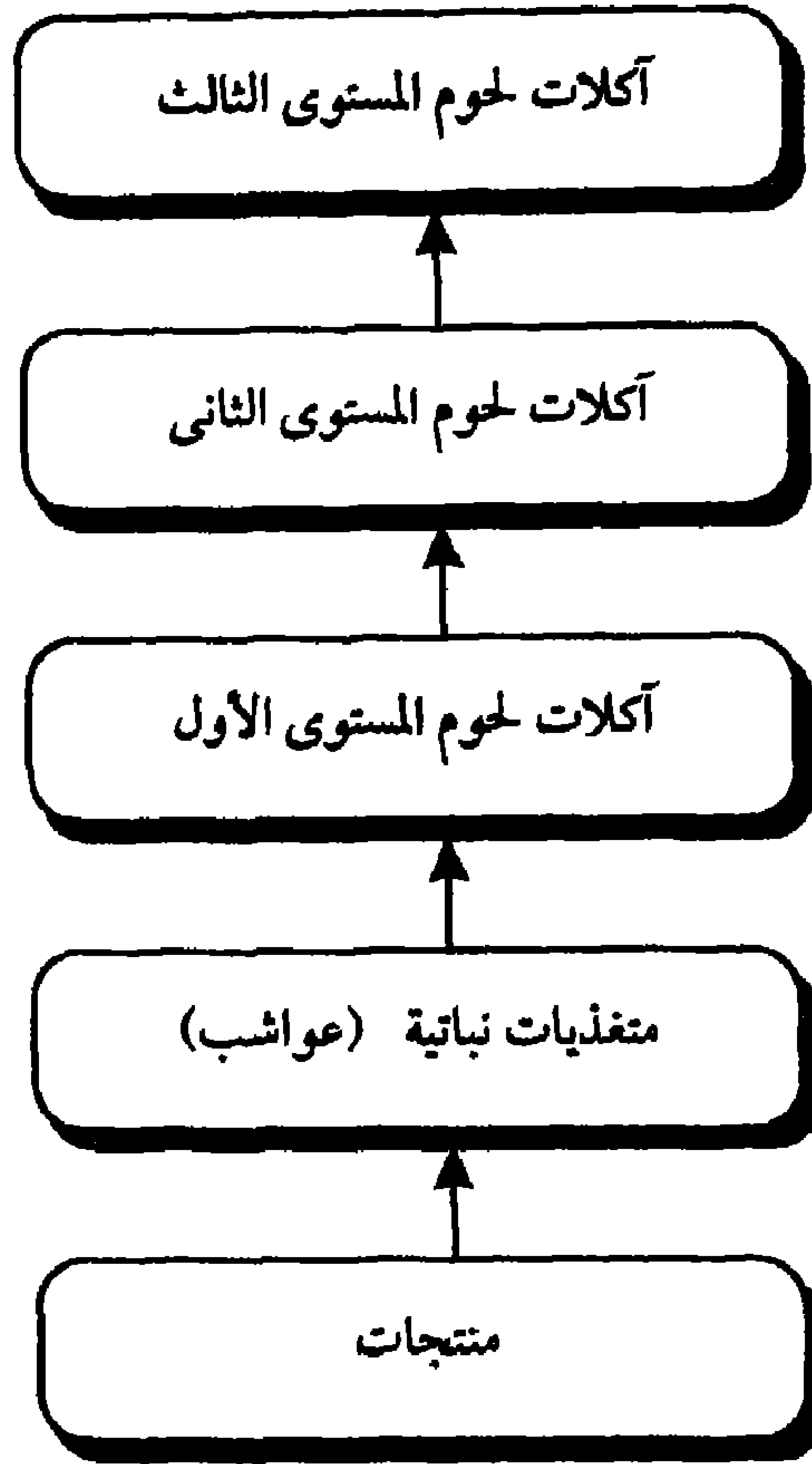

شكل (٢)
سلسلة غذائية توضح اتجاه انتقال الغذاء من المنتجات إلى المستوى الغذائى التالى

ويوضح شكل (٣) سلسلة غذائية بسيطة حيث النبات أو الكائنات المنتجة (producers) فى بداية السلسلة الغذائية؛ لأن النبات يستطيع تخليق المركبات العضوية التى تبنى أنسجته من مركبات بسيطة فى عملية البناء الضوئى، ويلى النبات باقى الأنواع التى لا تعتمد على نفسها فى الحصول على الغذاء كما تشير الأسهم فى الشكل وهذه الأنواع هى:

* العواشب (أنواع متغذية على النبات) Herbivores ويطلق عليها لفظ مستهلكات ابتدائية ويلى ذلك:
* آكلات لحوم المستوى الأول 1st-Level Carnivores والتى يطلق عليها مستهلكات ثانوية Secondary Consumers ويلى ذلك:
* آكلات لحوم المستوى الثانى2nd-Level Carnivores ثم يلى ذلك:
* آكلات لحوم المستوى الثالث 3rd Level Carnivores.







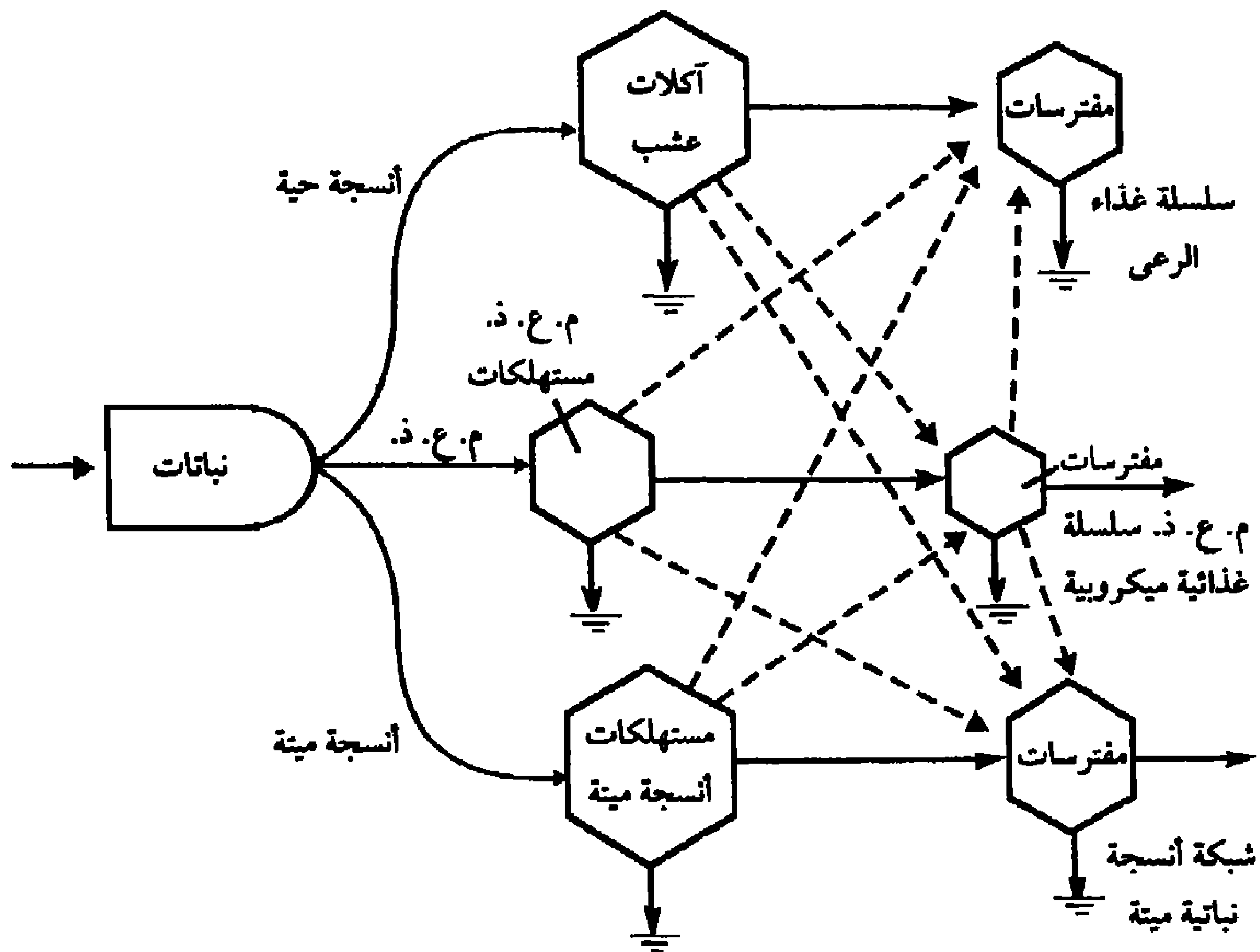

شكل (٣)
سلسلة غذائية بسيطة

وكثيرا ما يكون هناك أكثر من خمسة مستويات غذائية فى السلسلة الغذائية بإضافة مجموعات الطفيليات التى تمثل واحدا من مستويات الاستهلاك، وتتجمع السلاسل الغذائية فى النظام البيئى الواحد فى شبكة تحدد اتجاه حركة الغذاء والطاقة وتعرف بالشبكة الغذائية.

### ٣ - الشباك الغذائية Food Webs:

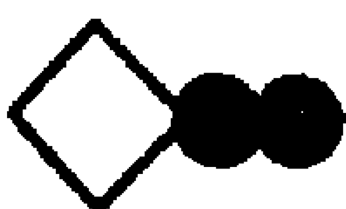
الشبكة الغذائية Food Webs هى مجموعة من السلاسل الغذائية لتوضح اتجاه حركة الغذاء (أو الطاقة) فى النظام البيئى. ويوضح شكل (٤ أ) نموذجًا عاما للشباك الغذائية، أما شكل (٤ ب) فيوضح إحدى هذه الشباك الغذائية، حيث

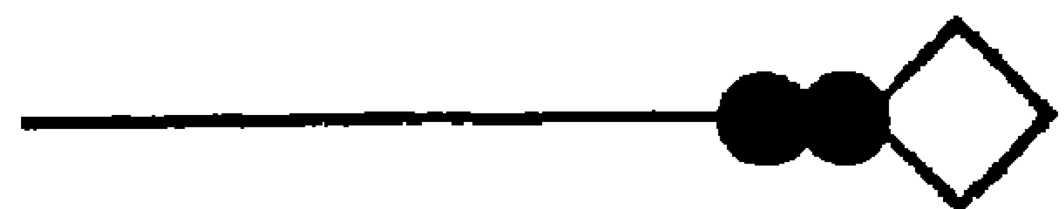
يمكن تتبع اتجاه الغذاء بسهولة، وعلى سبيل المثال إذا نظرنا على يسار الشكل (شكل ٤ب) نجد أن النتروچين Nitrogen يستخدم بواسطة البكتيريا Bacteria التى تعطى أملاحا معدنية Mineral Salts وتستخدم تلك الأملاح بواسطة النباتات Plants والطحالب Algae ثم تتغذى الديدان Worms والأوز Gees وغيرها من الحيوانات مثل طائر الترمجان Ptarmigan على تلك النباتات، ويتغذى الذئب القطبى Arctic Fox على الحيوانات التى اغتذت على النبات الحى. أما النباتات الميتة فسوف تستهلك بواسطة بعض الحشرات Diptera-Collembola والحلم Mites، وتقوم العناكب بافتراس الحشرات والحلم... وهكذا يمكن تتبع مصير أى كائن حى فى النظام البيئى من خلال الشبكة الغذائية.

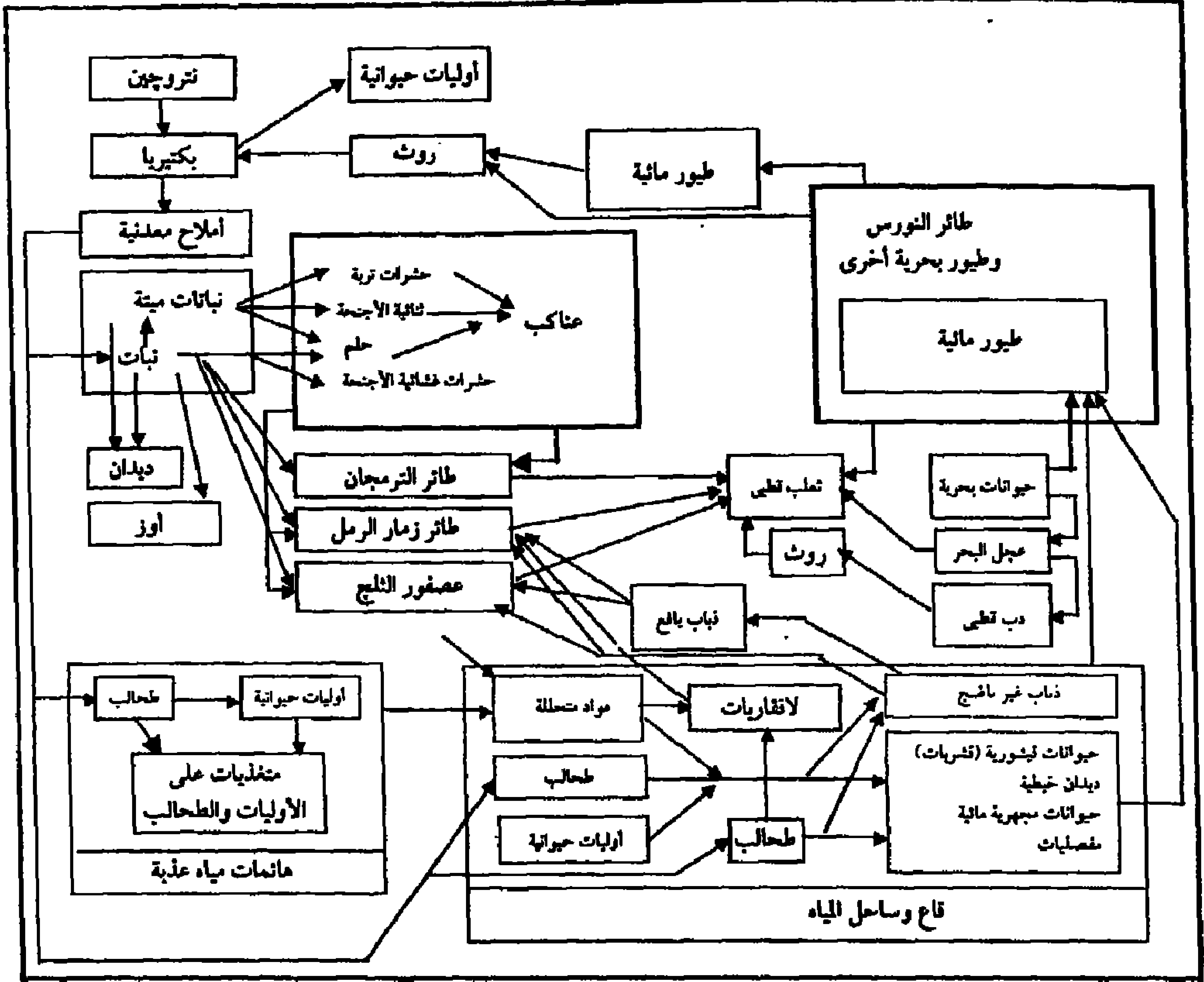



شكل (٤ أ)

نموذج عام للشباك الغذائية يعتمد على ثلاثة مصادر نباتية:
م.ع.ذ.(مواد عضوية مذابة)، أنسجة ميتة. ويلاحظ من الشكل وجود ثلاث مسارات رئيسية للطاقة (أنسجة حية، أنسجة ميته، م.ع.ذ) (عن Odum, 1997)








**شكل (٤ ب)**

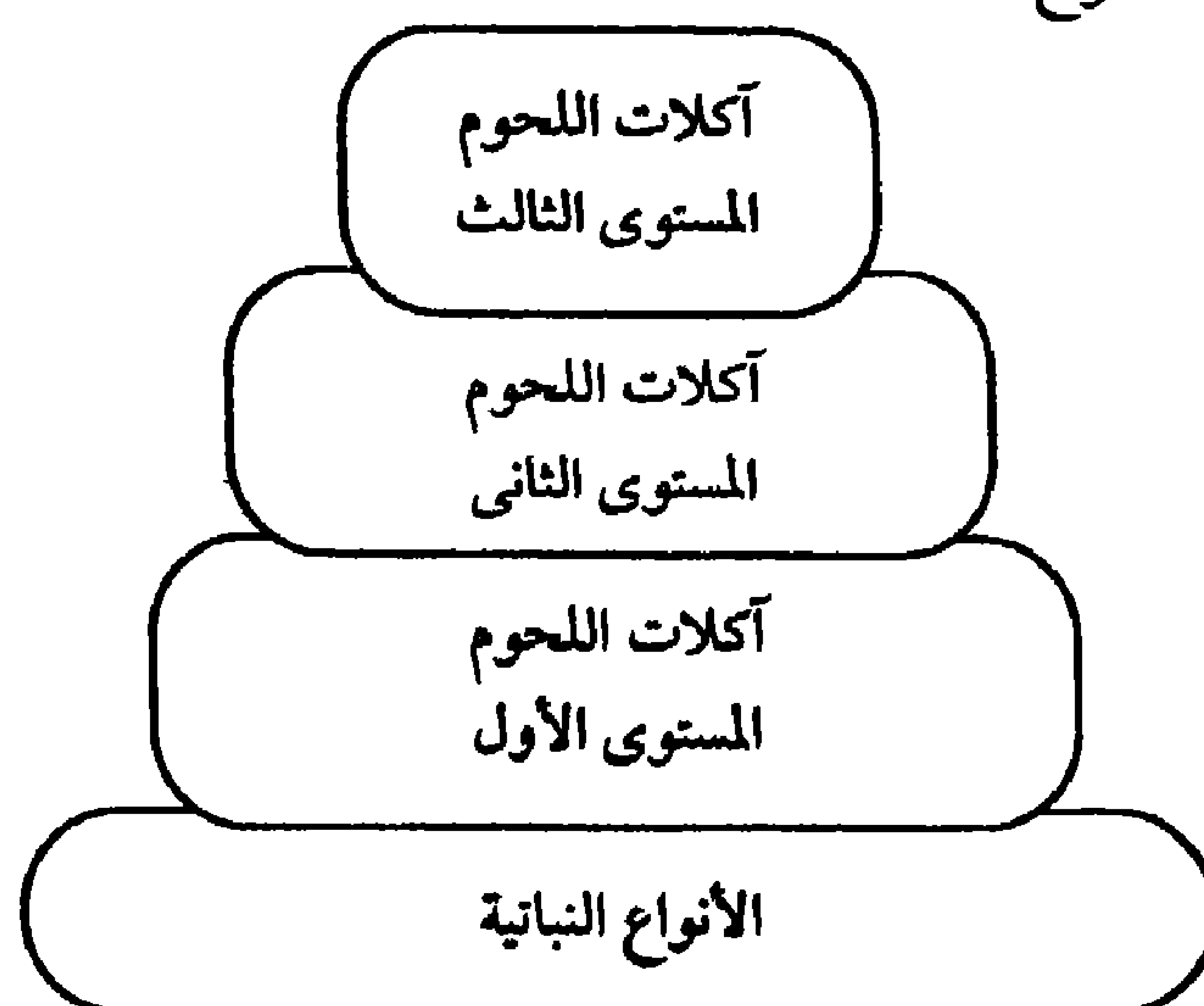
**شبكة غذائية فى إحدى المناطق القطبية عن (Elton, 1927)**

## ٤ - الأهرام البيئية Ecological Pyramids:

### أهرام الأعداد Pyramids of Numbers:

عند فحص نظام بيئى فى بحيرة أو مستنقع يمكن ملاحظة أن أعداد الأنواع وحيدة الخلية يصل إلى ملايين ونجد أن برغوث الماء، الذى يلى الأنواع وحيدة الخلية فى السلسلة الغذائية، يصل تعداده إلى مئات الآلاف، بينما نجد أن أعداد الخنافس المائية التى تتغذى على برغوث الماء أقل، ثم نجد الأسماك والتى تقع فى قمة السلسلة الغذائية أقل تعدادا من الخنافس المائية.

والخلاصة أن الأنواع التى تقع فى قاعدة السلسلة الغذائية تكون الأكثر فى عدد الأفراد، ويقل العدد تدريجيا مع السلسلة الغذائية حتى يصل عدد الأفراد إلى أقل تعداد فى الأنواع التى توجد فى قمة السلسلة الغذائية (Chapman And Reiss, 1995) (شكل ٥). ويجب ملاحظة أن الأنواع العاشبة هى الأنواع التى تتغذى على النبات، اما آكلات اللحوم فى المستوى الأول والثانى والثالث فيقصد بها كل أشكال الافتراس بما فى ذلك افتراس الأنواع المفترسة والتطفل وفرط التطفل (التطفل على الأنواع المتطفلة).

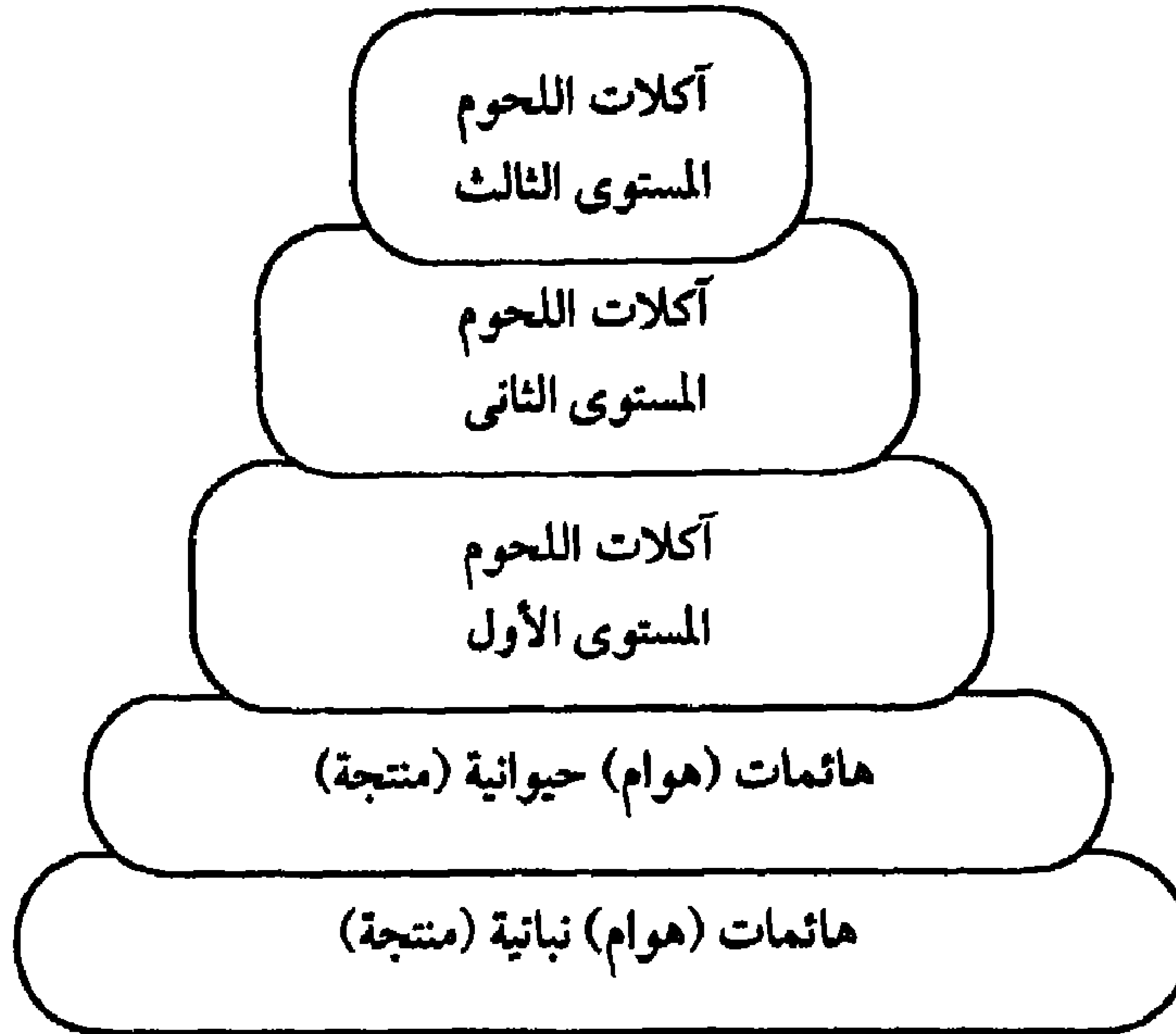



شكل (٥)
هرم الأعداد فى السلسلة الغذائية مع حذف الأنواع المنتجة
(النباتات التى تقوم بالبناء الضوئى)

### أهرام الكتلة الحيوية Pyramids of Biomass:

عند وضع أعداد الكائنات المنتجة (النباتات) فى أهرام الأعداد Pyramids of Numbers فسوف يؤدى ذلك إلى ظهور (هرم مقلوب)؛ لأن الشجرة أو الشجيرة الواحدة يعتمد عليها المئات أو الآلاف من الأفراد، وعلى سبيل المثال يمكن أن تتغذى الآلاف من الحشرات الصغيرة على شجرة واحدة، ومن هنا نشأت فكرة أهرام الكتلة الحيوية Pyramids of Biomass والتى تعتمد فى بنائها على وزن المجموعات المختلفة من عناصر السلسلة الغذائية، وفى هذه الحالة سوف نجد أن

الهرم «غير مقلوب» نظرا لأن أوزان الأنواع المنتجة أكبر من وزن الأنواع المتغذية عليها، كما أن وزن آكلات اللحوم فى المستوى الثانى أقل من آكلات اللحوم فى المستوى الأول. . . وهكذا (شكل ٦).



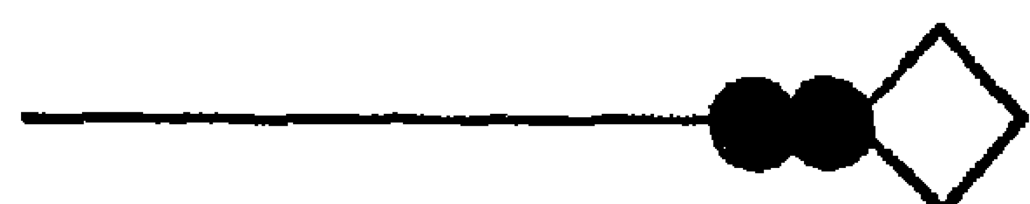

شكل (٦)
الكتلة الحيوية (متوسط وزن الأنواع الحية)

**أهرام الطاقة Pyramids of Energy:**

يستعمل هذا النوع من الأهرام البيئية لوصف العلاقات الغذائية فى الأنظمة البيئية المختلفة، ويعتبر هرم الطاقة Pyramids of Energy أبسط أشكال التعبير عن سريان أو انسياب الطاقة فى النظام البيئى (وسوف يعالج هذا الموضوع بشىء من التفصيل فى الجزء القادم من هذا الفصل). والوحدة فى بناء هرم الطاقة هى: كم الطاقة/ وحدة المساحة/ وحدة الزمن.

**مثال:** كيلو كالورى / فدان / سنويا.

وتظهر أهرام الطاقة معدلات انسياب (سريان) الطاقة بين المستويات الغذائية المتتابعة، ولا يمكن أن تنعكس أهرام الطاقة لأنها تتبع القانون الأول من الديناميكا





الحرارية والـذى ينص على أن الطاقة لا تفنى ولا تخلق من عـدم (لاحظ أن هرم الأعـداد يمكن أن ينقلب إذا وضعنا الـكائنات المنتجـة - النباتات - فى وضـعهـا الطبيعى) ويوضح شكل (٧) هرما للطاقة يعتـمد على أشجار البلوط فى إكسفورد (Varley, 1970)، ويلاحظ فى الشكل أن إنتاج المستـوى الأول من آكلات اللحوم أعلى من إنتاج الأنواع النباتية، وبالطبع فإن هذا لا يحدث فى الواقع ولكن السبب الحـقيـقى يرجع إلى عـدم إمكانية قـيـاس كم الطاقة المنتج مـن الأنواع العشـبيـة (Chapman and Reiss, 1995):

## ٥ - انسياب الطاقة فى المجتمعات الطبيعية:

**Energy Flow in Natural Communities**

تستهلك النباتات الخضراء كمًّا قليلا من الطاقة الضوئية التى تسقط عليها، فالنبـات لا يستهلك أكثـر من ١-٣٪ من الطاقة الشمـسية التى تسـقط عليه لإتمام عمليـة البناء الضوئى، ويمكن حسـاب فعالية البناء الضـوئى بطريقة (Transeau, 1926) الذى حسب الفعالية التى يحول بها نبات الذرة الطاقة الضوئية من الشمس إلى طاقة مـختـزنة فى جزيئات الجلوكـوز فى أنسجـة النبات نتيـجة عمليـة البناء الضوئى، ويمكن الاستعانة ببعض المعادلات لتوضيح هذه الطريقة:

* فعالية البناء الضوئى = الطاقة التى يثبتها النبات فى البناء الضوئى / الطاقة التى تسقط على النبات فى الحقل

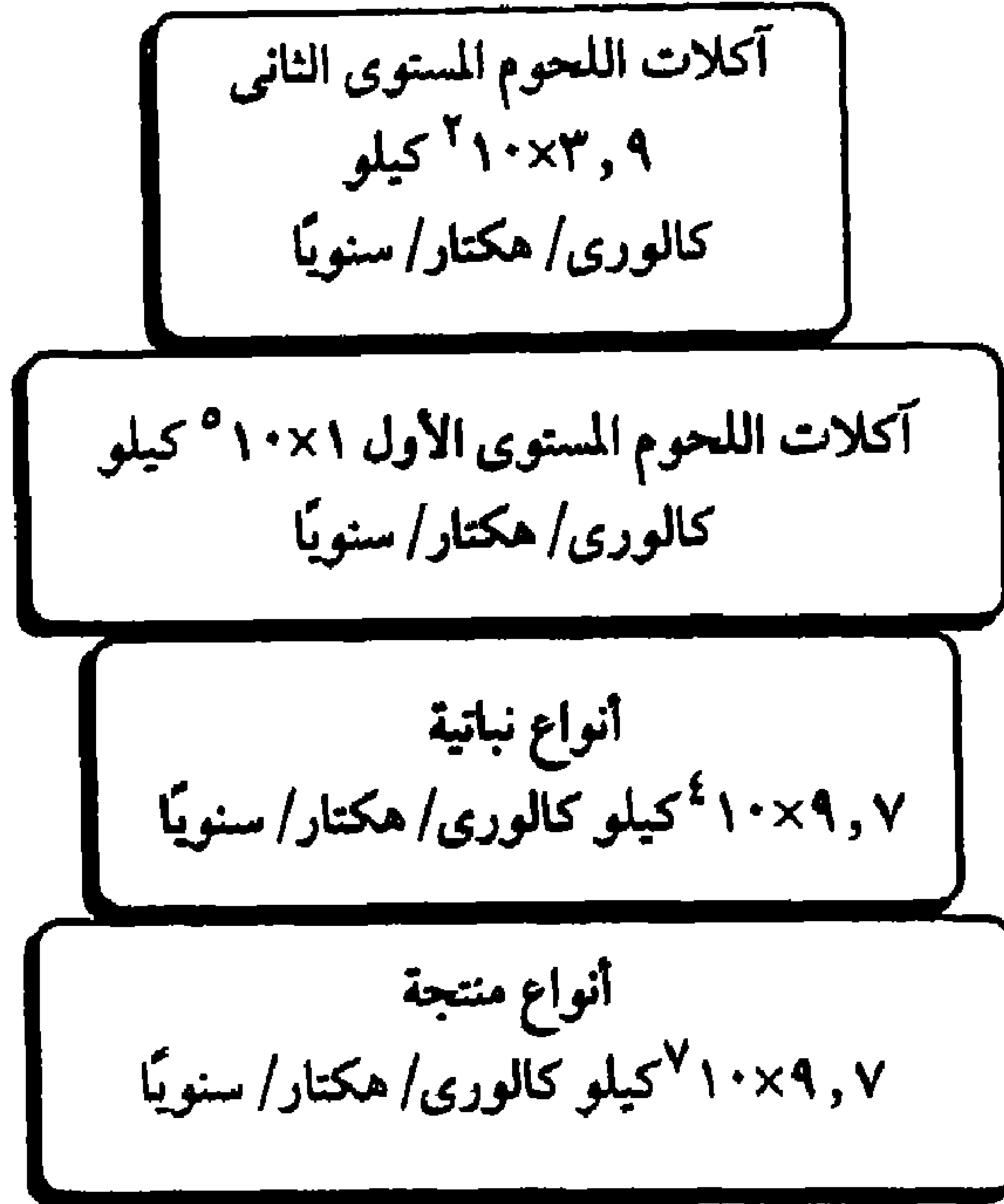
* الطاقة التى يثبتها النبات فى البناء الضوئى
= صافى الإنتاج الابتدائى + طاقة التنفس

* صافى الإنتاج الابتدائى = الكتلة الجافة (الوزن الجاف) للنبات.

وبناء على المعادلات السابقة يمكن حساب فعالية البناء الضوئى Efficiiency of Photosynthesis من المعلومات الآتية:

* كم الطاقة الشمسية الذى يسقط على النبات فى الحقل.
* وزن النبات الجاف.
* كم الطاقة التى استخدمها النبات فى التنفس.






**شكل (٧)**

**هرم للطاقة يعتمد على النظام البيئى لأشجار البلوط فى أكسفورد**

**وحدة الطاقة: كيلوكالورى/ هكتار/ سنويا (عن Varley, 1970)**

وتجدر الإشارة إلى أن حساب طاقة التنفس هو أصعب خطوة أو مرحلة فى هذه العملية، ولكن (Transeau, 1926) استطاع حساب طاقة التنفس (الطاقة التى فقدها النبات فى التنفس) بواسطة وضع بعض من نبات الذرة فى مكان مظلم وحساب كم غاز ثانى أكسيد الكربون وتحديد كم ثانى أكسيد الكربون الذى يستخدمه النبات، وافتراض أن معدل التنفس فى الضوء يساوى معدل التنفس فى الظلام، وهذا يعنى إمكانية حساب الطاقة التى استخدمها النبات فى التنفس (طاقة التنفس) من حساب كم غاز ثانى أكسيد الكربون معمليا، وقد توصل هذا العالم إلى أن فعالية البناء الضوئى فى حقول الذرة الجيدة لا تتعدى أكثر من ١,٦٪.

إن ما ذكرناه سابقا يبين أن أكثر من ٩٨٪ من طاقة الشمس التى تصل إلى المنطقة المزروعة لا تستعمل بواسطة النبات ويرجع ذلك إلى عدة أسباب أهمها:

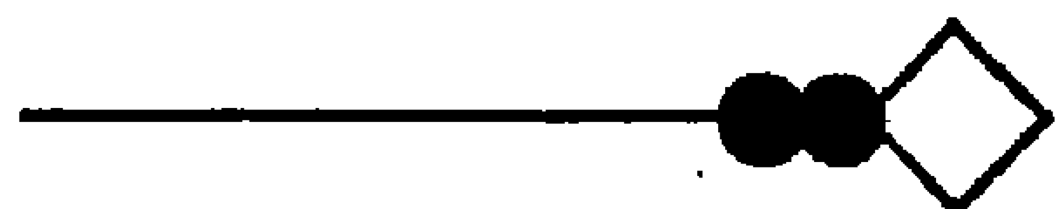
- أن ضوء الشـمس الذى يسقط عـلى المناطق المزروعة أو التى ينمـو فيـها الكساء الخضرى طبـيعيا يؤدى إلى عملية تدفئـة النبات والقليل فى عملية البناء الضوئى.
- كم كبير من الضوء يسقط على التربة ولا يسقط على النبات.
- ينعكس كم كـبيـر من ضوء الشـمس من على سطح النبات ولا تسـتطيع أنسجة النبات استخدامـه، وبذا لا يصل إلى البلاستيدات الخضراء بداخل الخلايا النباتية.
- أسباب تتعلق بفـسيولوچيا النبات، ويمكن الرجوع عـلى سبيل المثال إلى (Salisburg and Ross, 1985).

## ٦- الإنتاج الابتدائى: Primary Production

عملية البناء الضـوئى هى الأساس الذى تعتمد عليـه كل أشكال الحياة وهى أيضًا نقطة البداية فى دراسة أيض المجتمعات Community Metabolism. وتشكل النباتات الجزء الأعظم من الكتلة الحيـوية على الأرض إذ يبلغ وزن النباتات حوالى ٩٩,٩٪ من الوزن الكلى لـلكائنات الحـيـة (Whittaker, 1975) والإنتـاج الكلى الابتدائى Gross Primary Producton هو الطاقة التى يثبتها النبات فى عملية البناء الضوئى وصافى الإنتاج الابتدائى Net Primary Production يعادل الإنتاج الكلى الابتدائى مطروحـا منه الطاقة التى يستهلـكها النبات فى عمليـات النمو والتنفس. وأبسط الطرق لقـيـاس الإنتـاج الكلى الابتـدائى هى طريقـة الحـصـاد Harvest Method. حيث تعتبر كمية النباتات المنتجة فى وحدة الزمن $\Delta B$ مساوية للتغير فى الكتلة الحيوية خلال الـفترة الزمنية «١» إلى «٢» ($\Delta B2 - \Delta B1$) والفقد فى الكتلة الحيوية للنبات يحدث بطريقتين:

١- الفقد نتيجة موت النبات (L).

٢- الفقد نتيجة تغذية الحيوانات على النبات (G).

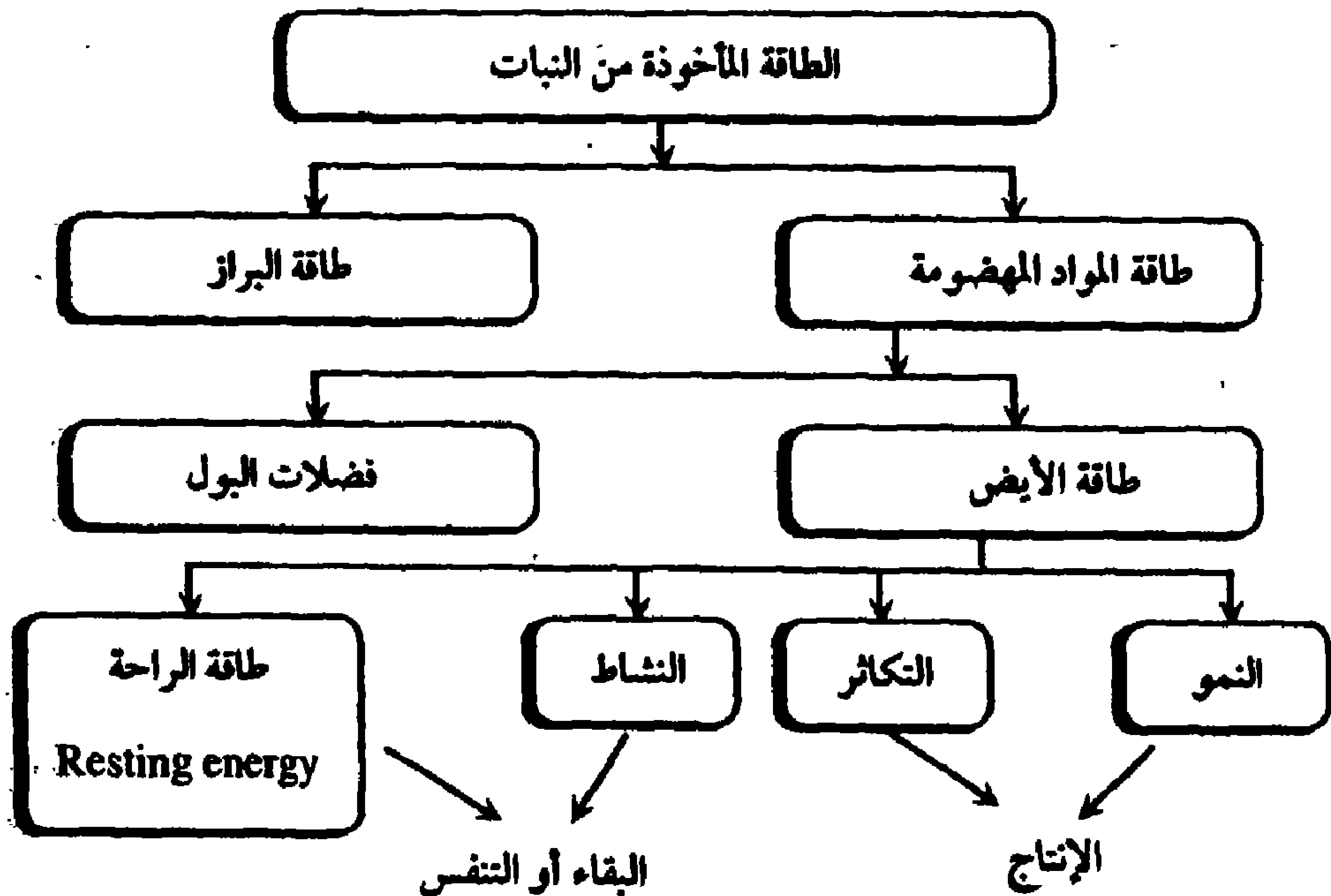
ويمكن إيجاد صافى الإنتاج الابتدائى بعد معرفة الكميات المفقودة من الكتلة الحيوية النباتية:

صافى الإنتاج الابتدائى = $G + L + \Delta B$

ويمكن حساب كمية الطاقة التى تكافئ الكتلة الحيوية عن طريق حرق وزن معلوم من النباتات فى جهاز «Bomb Calorimeter». ولمزيد من التفاصيل يمكن الرجوع إلى (Whittaker, 1975; and Stiling, 1992).

## الإنتاج الثانوى: Secondary Production

الكتلة الحيوية النباتية التى تتراكم فى البيئة نتيجة عملية البناء الضوئى تنتهى إلى أحد الاتجاهين، إما أن تتغذى عليها الحيوانات العشبية أو الكائنات المحللة. وأوضحت العديد من الدراسات أن الكائنات المحللة تستهلك حوالى ٨٠٪ من المادة النباتية بعد موتها. ولكن الحيوانات العاشبة تشكل قوة هامة للانتخاب الطبيعى فى النبات. والإنتاج الثانوى للطاقة يعبر عن كم الطاقة الذى تستوعبه الأنواع التى تتغذى على النبات ويتخذ سريان الطاقة فى الحيوان عدة اتجاهات (شكل ٨أ،ب):




شكل (٨أ)

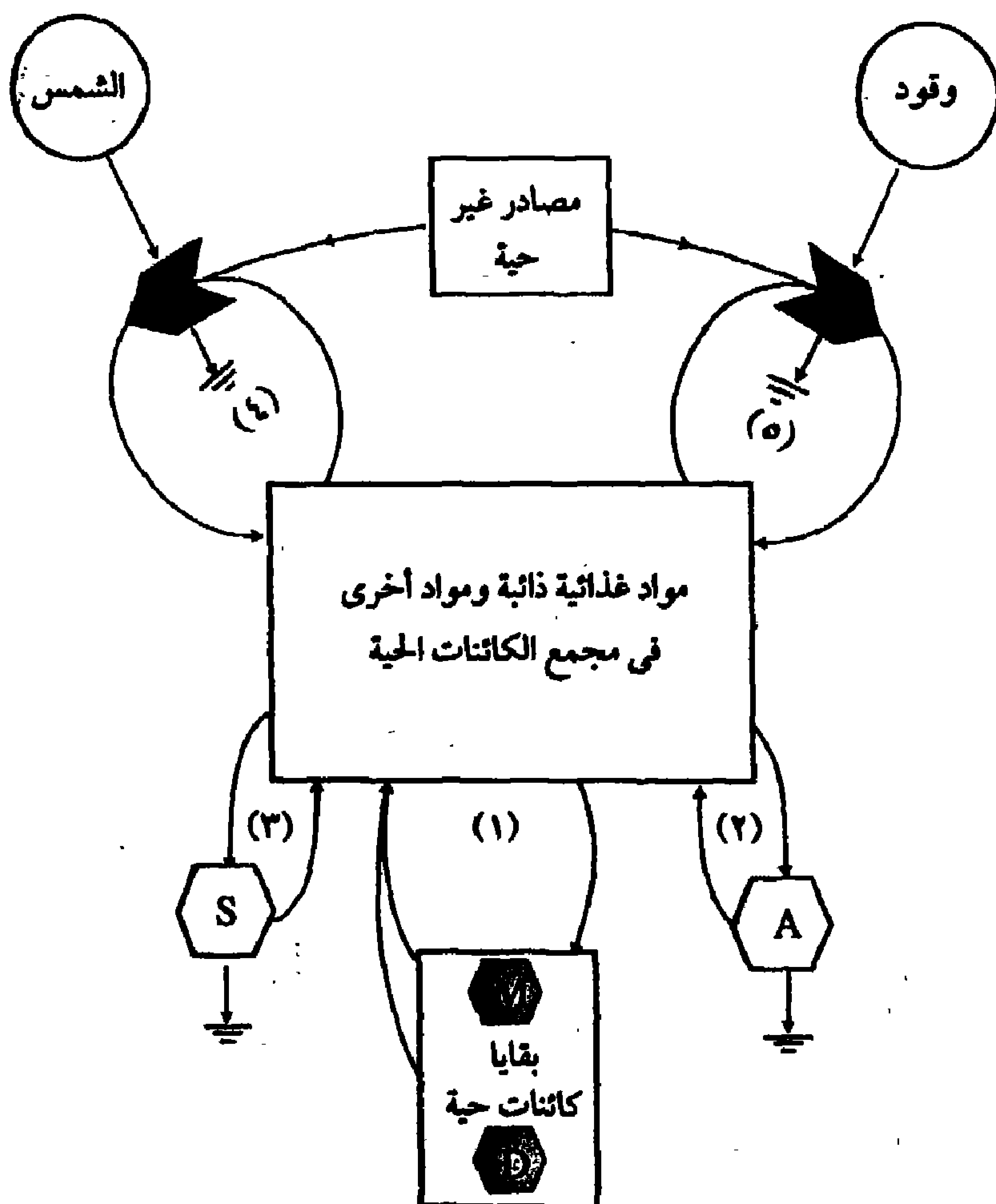
اتجاهات سريان الطاقة (محمد محمد الشاذلى-٢٠٠٠)

والدراسة التى قدمها (Odum, 1957) تعتبر من أشهر الدراسات التى توضح الفقد فى الطاقة مع انتقال الغذاء خلال المستويات المختلفة من السلاسل الغذائية، حيث يستعان بهذه الدراسة فى العديد من مراجع البيئة التى تعالج موضوع النظم البيئية شكل (٩).

تقدر كمية الطاقة الشمسية التى تصل إلى الكرة الأرضية بحوالى ٣,١٥×١٠^٨ كالورى لكل متر مربع في السنة. يتشتت جزء كبير من هذه الطاقة ويستنفد جزء كبير منها فى عمليات البخر. وتختلف كمية الطاقة التى يستعملها النبات تبعًا للموقع الجغرافي. أكثر من ٩٥٪ من الطاقة الشمسية التى تصل إلى الأرض يتم فقدها على شكل حرارة والجزء المتبقى (١- ٥٪) يستعمل فى عملية البناء الضوئى، حيث يتحول إلى أنسجة نباتية تختزن الطاقة. وتتضح علاقات الطاقة فى المستوى الغذائى الأول (الأنواع ذاتية التغذية - النباتات التى تقوم بعملية البناء الضوئى) فى شكل ١٠ وبفحص الشكل نجد أن فاعلية البناء الضوئى Photosynthesis Efficiency منخفضة.



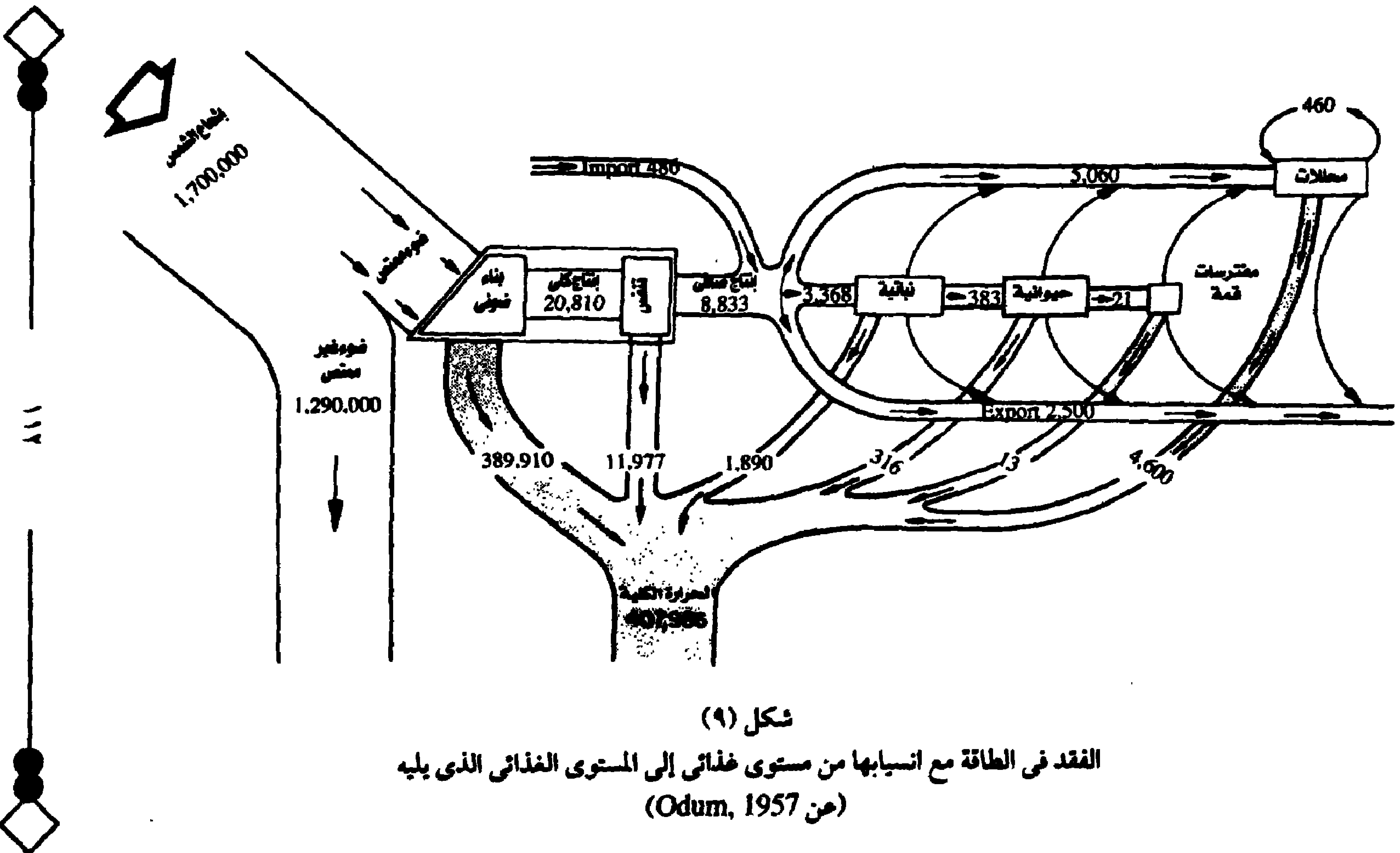





شكل (٨ب): خمس مسارات رئيسية لإعادة تدوير الطاقة: (١)التحلل بالكائنات الدقيقة -M- ، والمتغذيات على البقايا -D-. (٢) الإخراج في الحيوانات -A-. (٣) أنواع متعايشة تكافلية -S-. (٤) الطاقة الشمسية المستخدمة كما في دورة الماء. (٥) وقود حفري مستخدم على سبيل المثال في الصناعة. (عن Odum, 1997 ).








**شكل (٩)**

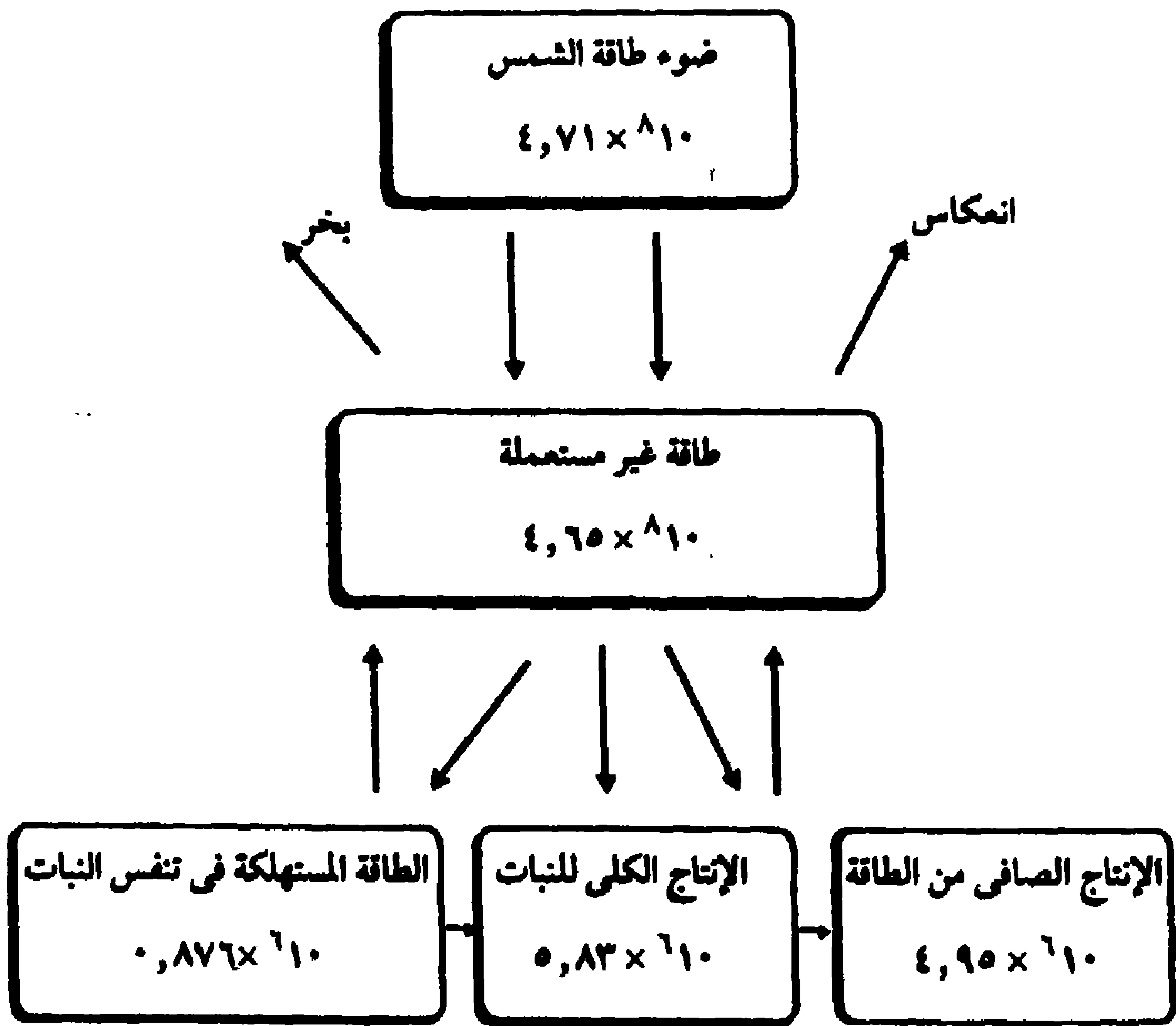
**الفقد فى الطاقة مع انسيابها من مستوى غذائى إلى المستوى الغذائى الذى يليه**

**(عن Odum, 1957)**

$$\text{فاعلية البناء الضوئى} = \frac{\text{الإنتاج الصافى من الطاقة}}{\text{كمية الطاقة الشمسية التى تصل إلى النبات}}$$

$$= \frac{٤,٩٥ \times ١٠^{٦}}{٤,٧١ \times ١٠^{٨}} = ١,٠٥ \%$$

ولكن فاعلية البناء الضوئى تختلف من نبات لآخر ومن مجتمع لآخر (شكل ١٠) وقد ترتفع حتى تصل إلى ٣,٥٪ (Price, 1984).




شكل(١٠)

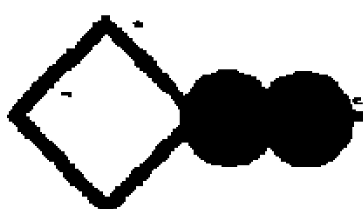
علاقات الطاقة فى مجتمع من الأعشاب فى ولاية ميتشجان (Phillipson, 1966)

أما الكـائنات غير ذاتيـة التغـذية والتى تعتـمد على النبـات بشكل مبـاشر (الحيوانات العاشبة) أو غير مباشـر (الطفيليات أو المفترسات) فتخرج حوالى ٩٠٪ من الغذاء الذى تناوله على شكل فضـلات ولا تتعدى كفاءة التمثـيل الغذائى أكثر من ١٠٪ وهناك بعض الحالات الشاذة الـتى يصل التمثيل الغذائى فـيها إلى ٧٥٪ (Phillipson, 1966) (شكل ١٠).

ويتوقف عدد المستويات الغذائية Trophic levels على كمية الطاقة الشمسية التى تصل إلى الغـلاف الجوى حيث يقل عـدد المستـويات الغذائية مع قـلة الطاقة الشمـسية التى تصل إلى النبات؛ لأن عـملية البناء الضوئى هى المصـدر الأساسى لتخليق المواد العضوية بما تحتويه من طاقة تستغل فى جميع أشكال الحياة مع استثناء بعض أنواع البكتيـريا ذاتية التغذية الـتى لا تعتمد على الطاقـة الشمسيـة فى إنتاج المواد العضـوية، ولكن هذه البكتـيريا لا تمد النظام البـيئى إلا بقدر ضـئيل وغـير محسوس من الطاقة الكلية اللازمة لاستمراره.

وتختلف الكتلة الحـيوية Biomass للحيـوانات العاشبة فـى الأنظمة البيئـية المختلفة تبعا لقـدرة النبات على تثبيت وتخزين الطاقة الشمسـية على صورة أنسجة نباتية يمكن أن يعتمد عليها أفراد المستوى الغذائى الثانى (الحيوانات العاشبة - كما ذكرنا مسبـقًا) ويمكن معرفة هذه الكتلة الحيوية والعـدد النسبى للأنواع المكونة لها وعمومـا فقد تصل الكتلة الحيـوية للحيوانات النباتيـة إلى حوالى ١٠٪ من الكتلة النباتيـة فى النظام البيـئى. ويجب أن نشير إلى أن تركـيب مجتـمعات الحـيوانات العاشبة لا يعتمد فقط على كل كم الطاقة المنتج فى النظام البيئى ولكنه يعتمد أيضا على طريقة اختزان هذه الطاقة، فنجد على سـبيل المثال أن الطاقة تختزن فى بعض الأنظمة البـيئية على شكل كـتل كبيرة من الأنسـجة الخشبـية التى تمد بعض أنواع الحشرات بمصدر غذائى مستمر.

تتأثر الصفات البيولوجية للمجتـمعات بالطريقة التى تعتمد عليها الأنواع فى الحصـول على الطاقة، فنجد أن بعض أنواع الحـشرات التى تتغذى على الأنسـجة الخشبية مثل ناخرات الخشب من رتبة غـمدية الأجنحة والسيكادا من رتبة متجانسة الأجنحة تـعيش فتـرات حيـاة طويلة وتتمـيز بطول فـترة الجيل مـثل بعض أنواع





السيكادا التى تستغرق دورة حياتها من ١٣ إلى ١٧ عاما. أما الأنواع التى تعتمد على مصادر غذائية تختزن فيها الطاقة بشكل مؤقت مثل الجراد الذى يتغذى على نباتات البرارى. والخنفساء البرغوثية وصراصير الغيط وغيرها تتميز بدورة حياة قصيرة يتخللها عادة سكون أو بيات شتوى فى أحد أطوار النمو.

وكما تختلف النباتات فى قدرتها على اختزان الطاقة، تختلف قدرة الحيوانات النباتية على اختزان وتمثيل الطاقة، حيث يختلف توزيع الطاقة Allocation تبعا لمصدر الطاقة المستخدم (مؤقت أو مستديم) والعوامل البيئية التى تؤثر على فسيولوجيا الحيوان من الطقس والتغيرات الموسمية فى الآهلات واستراتيجيات التكاثر (بعض الأنواع تنتج ذرية كبيرة العدد فى فترة جيل صغيرة - تختلف معدلات وضع البيض فى الأنواع المختلفة ... إلخ)، ويعطى شكل (١١) نموذجا لانسياب الطاقة فى أفراد أو آهلات الأنواع غير ذاتية التغذية. ويبدو أن الانتخاب الطبيعى ينحاز تجاه الأفراد أو الجماعات التى تتميز بقدرة عالية على استهلاك الغذاء وتمثيله للحصول على أكبر قدر ممكن من الطاقة.

تصبح الطاقة جزءاً من الكائن الحى بعد أن تختزن على شكل كربون مختزل أى بعد أن يمتص الغذاء خلال جدار الأمعاء فى الأنواع غير ذاتية التغذية. ويجب أن يؤخذ فى الاعتبار أن الفضلات التى يخرجها الكائن الحى لا تدخل فى التفاعلات البيوكيميائية داخل الجسم ولكنها تعتبر عاملا أساسيا يضمن استمرار هذه التفاعلات. وبعد تثبيت الطاقة فى الكائن الحى فى شكل كربون مختزل تصبح «إنتاجا كليا» Gross Production وتتحرك هذه الطاقة فى المسارات الآتية:

١- الأيض التنفسى الذى ينتج عنه الكحول الإيثيلى أو حامض اللاكتيك أو ثانى أكسيد الكربون.

٢- مركبات نتروجينية تخرج على شكل فضلات.

٣- تستهلك الكائنات الحية طاقة فى بناء أنسجتها وفى الحركة أو تحريك أشياء أخرى.

٤- الكربون المختزل يمكن أن يدخل فى تركيب جزيئات جديدة.




شكل (١١)
انسياب الطاقة فى أفراد أو آهلات الأنواع غير ذاتية التغذية (محمد محمد الشاذلى ٢٠٠٠)

عندما يكون صافى إنتاج الطاقة Net Production موجبا يكون معدل إنتاج أنسجـة جديدة أسرع من مـعدل هدم الأنسجة القـديمة، ويمكن حسـاب الإنتاج الكلى للطاقة فى الأنواع ذاتية التغذية والأنواع غيـر ذاتية التغذية من النماذج التالية (عن محمد محمد الشاذلى، ٢٠٠٠)

**أولاً: الكائنات ذاتية التغذية:**

$$GPP = AR + NPP + AEX + AW$$

حيث:

GPP = الإنتاج الكلى الابتدائى للطاقة.

AR = طاقة التنفس.

NPP = صافى إنتاج الطاقة الابتدائية (الأنسجة).

AEX = طاقة الإخراج.

AW = طاقة الشغل (الحركة - الأنشطة الحيوية ...... إلخ).

**ثانياً: الكائنات غير ذاتية التغذية:**

$$GSP = HR + NSP + HEX + HW$$

حيث:

HR = طاقة التنفس

GSP = الإنتاج الكلى الثانوى للطاقة.

NSP = الإنتـاج الصـافى الثـانوى (الأنسـجة التـى تبنى فى جـسم الكائن الحى).

HEX = طاقة الأنشطة الإخراجية.

HW = طاقة الشغل.

ويجب ملاحظة أن طاقة الأنشـطة الإخراجية وطاقة الشـغل تكاد تقترب من الصفر فى الأنواع ذاتية التغذية نظرًا لأن النباتات عمومًا غير متحركة بالإضافة إلى أن العمليات الإخراجية فى النبات أبسط بكثير من عمليات الإخراج فى الحيوان.





ويمكن أن يفقد صافي الإنتاج (الأنسجة) بأربع طرق:

١- التكاثر (خروج الحيوانات المنوية - البويضات - الجراثيم - ....... إلخ).

٢- فقد جـزء من الكائن الحى، حيث تسبب عملية الانسـلاخ فى الحشرات فقـد كميات كـبيرة من الطاقـة، وقد أوضحت العديد من البـحوث أن آهلات المن على شجـرة واحدة تفقد من ٣٠٠ إلى ٣٦٠ كـيلو كالورى سنويًا، وهذا الكم يمثل حوالى ١٤٪ من صافـى الطاقة الذى ينتجه المن أثناء حياته.

٣- خروج بعض المواد من الجسم كما فى حـالة إفراز الفيرومونات أو المواد الدفاعية فى الحشرات.

٤- يمكن استـهلاك جزء من الكائن الحى ويلاحظ أن الأنواع التى تتـغذى على النبـات تؤثر على معـدلات إنتاج النبات للطـاقة بينما لا تسـتطيع الكائنات المحللة (الكانسـات) التأثيـر على معـدل إنتاج الطاقـة لأنها لا تعمل إلا بعد موت الكائن الحى.

## ٧- دور اللافقاريات فى انسياب الطاقة

### The Role of Invertebrates in Energy Flow:

ما هو الدور الذى تلعبه اللافقاريات وخاصة الحشرات فى انسياب الطاقة فى الأنظمة البيـئية؟ وكيف تستغل الحشـرات الطاقة فى الغذاء؟ درس (Odum et al., 1962) انسياب الطاقة فى ثلاث مجموعات من المستهلكات الابتدائية وهى:

- عصفور السافانا *Sandwichensis Passerculus* المتغذى على البذور.
- فئران الغيط *Peromycus polinouts* المتغذية على البذور.
- النطاطات (حشرات مـستقيـمة الأجنحة) *Melanoplus Bilituratus; M. femur-rubrum*.
- صراصير الغيط *Oecanthus nigriornis*.

وتوصلت الدراسة إلى النتائج الآتية:

- معدل انسياب الطاقة لعصفور السافانا: ٣,٦ كيلو كالورى لكل متر مربع سنويًا.
- معدل انسياب الطاقة للفئران: ٦,٧ كيلو كالورى لكل متر مربع سنويًا.
- معدل انسياب الطاقة للحشرات مستقيمة الأجنحة: ٢٥,٦ كيلو كالورى لكل متر مربع سنويًا.

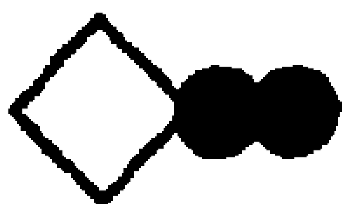
وهذا يوضح أن اللافقاريات وبخاصة الحشرات هى أكثر الأنواع النباتية فى أهميتها حيث تستهلك الحشرات كما كبيرًا من الطاقة المتاحة فى النظام البيئى (انظر شكل ١٢) ويوضح جدول (٢) الطاقة المنتجة من الأنواع العاشبة لكل متر مربع سنويًا.

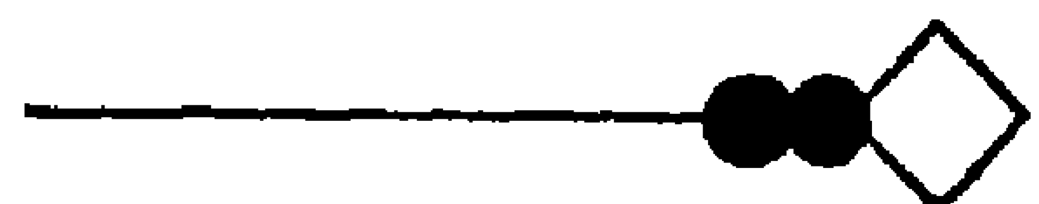
***جدول (٢): إنتاج الطاقة لأهلات الحيوانات العاشبة***

***كيلو كالورى / متر مربع / سنة***

| الحيوان العشبى | الإنتاج | نسبة التمثيل المتحول إلى إنتاج |
|---|---|---|
| عصافير | ٠,٠٤ | ١ |
| فئران | ٠,١٢ | ٢ |
| حشرات مستقيمة الأجنحة | ٤,٠٠ | ١٥ |

بالرغم من أن الحشرات من رتبة مستقيمة الأجنحة تستخدم جزءا بسيطا من الطعام الذى تستهلكه (٢-٧٪) فى حين تستخدم آكلات اللحوم نسبا أعلى من الطعام المستهلك (١٠-٥٠٪) إلا أن إنتاج الحشرات للطاقة أكثر مائة ضعف من إنتاج العصافير وثلاث وثلاثين ضعفا من إنتاج الفئران (جدول٢). ومن ثم تعتبر الحشرات أكثر استهلاكا وإنتاجا للطاقة من الفقاريات فى نفس المستوى الغذائى، وذكر (Price, 1984) أن فقد الحشرات من النظام البيئى يؤدى إلى خفض عدد المستويات الغذائية واضمحلال الكثير من الحلقات فى الشبكة الغذائية.





يلخص جدول (٣) انسياب الطاقة فى حقلين قـديمين فى جنوب كاليفورنيا وجنوب ميتشجان.

***جدول (٣): الاستخدام السنوى للطاقة فى المستهلكات الابتدائية فى مجتمعات الحقول القديمة فى جنوب كارولينا وجنوب ميتشيجان***

***(كيلو كالورى/ متر مربع / سنة)*** (Wiegert and Evants, 1967)

| | ابتلاع الغذاء | | تمثيل الغذاء | | الإنتاج الثانوى للطاقة | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | جنوب كارولينا | جنوب ميتشجان | جنوب كارولينا | جنوب ميتشجان | جنوب كارولينا | جنوب ميتشجان |
| العصافير | ٤ | ٢,٦ | ٣,٦ | ٢,٣ | ٠,٠٤ | ٠,٠٥ |
| الفئران | ٧,٤ | ١,١ | ٦,٧ | ٠,٦ | ٠,١٢ | ٠,٠١ |
| الحشرات مستقيمة الأجنحة | ٧٦,٩ | ٣,٧ | ٢٥,٦ | ١,٤ | ٤,٠٠ | ٠,٥١ |
| البق | — | ١,٥ | — | ٠,٩ | — | ٠,٠٨ |
| حشرات أخرى | ٧,٧ | ٠,٧ | ٢,٦ | ٠,٣ | ٠,٤ | ٠,١٠ |

يتضح من الجدول السابق أن معدلات ابتلاع الغذاء فى الحشرات أعلى من الأنواع الأخرى لدرجة أن بعض أنواع البق تبتلع كما من الغذاء أكبر مما تبتلعه الفئران (نلاحظ أن تعداد آهلات الحشرات أعلى بكثير من تعداد آهلات الأنواع الأخرى). ترتفع كفاءة تمثيل الغذاء Assimilation Efficiency فى الفقاريات حتى تصل إلى أكثر من ٥٠٪، ولكن الحشرات عموما أقل فى القدرة على تمثيل الغذاء وهذا يؤدى إلى خروج كميات كبيرة من الغذاء غير الممثل على شكل فضلات برازية، وهذه الفضلات لها أهمية كبيرة فى المستوى الغذائى الذى يشتمل على الأنواع المحللة للمواد العضوية Decomposer-based Trophic Level.

يعتبر المنّ من الكائنات التى تلعب دوراً رئيسيًا فى سريان الطاقة فى النظام البيئى. فالندوة العسلية Honey dew التى يفرزها المن تعتبر غذاء رئيسيا لبعض أنواع الفطريات والحيوانات بالإضافة إلى وجود العديد من الأنواع التى تتغذى على المنّ بالتطفل أو الافتراس مثل خنافس أبو العيد (فصيلة كوكسينيليدى Coccinillidae ومفترسات غير متجانسة الأجنحة ومتطفلات غشائية الأجنحة التابعة لفصائل (براكونيدى، كالسيدى Braconidae, Calcidae وغيرها).

وُجِد أن آهلات المن من نوع *Eucallipterus biliae* تستهلك حوالى ٣٦٧٢ كيلو كالورى/ متر مربع/ سنويًا فى إنجلترا ويعتبر هذا المعدل من استهلاك الطاقة من المعدلات العالية إذا ما قورن مع بعض أنواع الاغنام التى تستهلك ٧٣٠ كيلو كالورى/ متر مربع/ سنويًا. وفراش أشجار البلوط الذى يستهلك ١٥٤ كيلو كالورى/ متر مربع/ سنويًا.

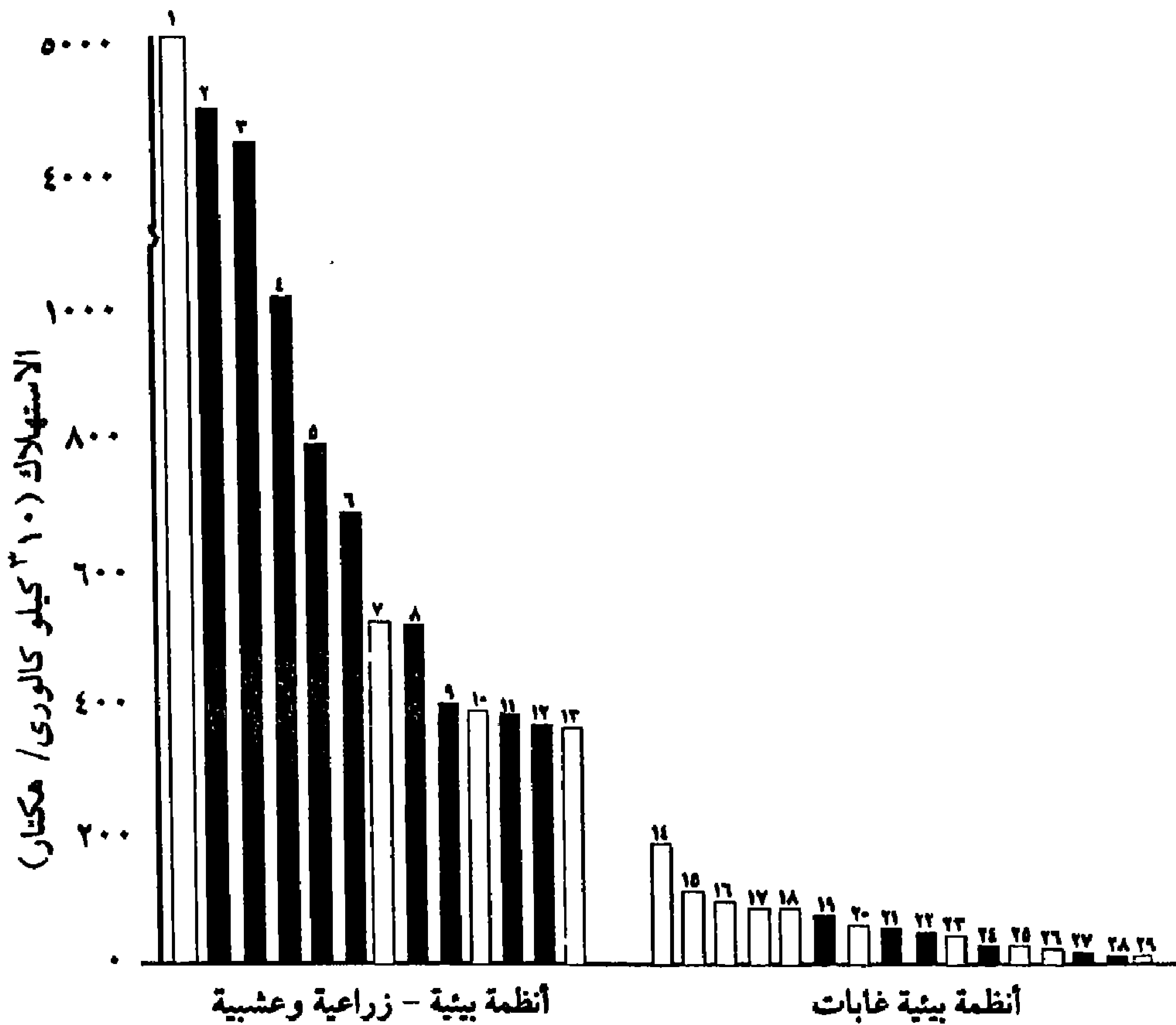
ولكن كيف تستغل الطاقة التى يستهلكها المن؟. ذكر (Price, 1984) أن ٩٠٪ من هذه الطاقة يستعمل فى إنتاج الندوة العسلية (سائل سكرى يفرزه المن).

يتغذى المن على النبات بدون أن يتسبب فى إتلاف ميكانيكية البناء الضوئى، وبهذا يستمر العائل النباتى فى الإنتاج متيحًا فرصة مستمرة للتغذية، وهذا يعنى أن المن لا يدمر مصدره الغذائى فى جميع الأحوال، بل يمكن أن يزيد من قدرة العائل النباتى على تثبيت الكربون وإنتاج الطاقة حيث إن المن يخلص النبات من المواد المتراكمة والتى قد تؤدى إلى إضعاف عملية التمثيل الضوئى.

ويتضح تأثير الحشرات على عمليات انسياب الطاقة فى الأنظمة البيئية المختلفة من شكل (١٢) حيث نجد أن الحشرات هى أكثر المجموعات استهلاكًا للطاقة فى الأنظمة البيئية.








**شكل (١٢)**

**مقارنة معدلات استهلاك الطاقة فى الحيوانات العاشبة فى «١٣» نظاما بيئيا زراعيا وعشبيا و«١٦» نظاما بيئيا للغابات الطبيعية**

**(الأعمدة السوداء تمثل الحشرات ـ عن محمد محمد الشاذلى، ٢٠٠٠)**

ومع التطور فى معرفـة ديناميكا الأنظمة البيئيـة أعاد العلماء النظر فى وضع الأنظومات الحشرية واللافـقاريات بصفة عامة فى النظام البـيئى أو بمعنى آخر ينظر الآن إلى الحـشرات واللافـقـاريات على أنهـا كائنـات «منظمة» وليـست كـائنات «مسـتهلكة» فى االنظام البيـئى. وتوضح الدراسة التى قدمـها (Cummins, 1974) تأثير الطاقـة والمواد التى تصل إلى النظام البيئى فى أحد الجـداول شكل (١٣) مثل



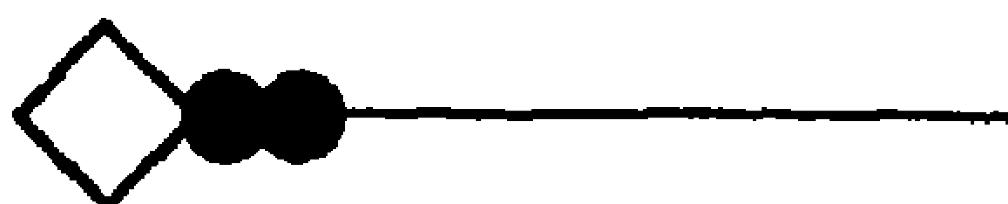


الطاقة الشمسية والمواد العضوية. ويوضح الشكل أن أى تغير طفيف فى كمية أو نوعية المواد التى تصل إلى هذا النظام البيئى سوف يؤدى إلى حدوث تغيرات جوهرية فى هذا النظام (شكل ١٣).

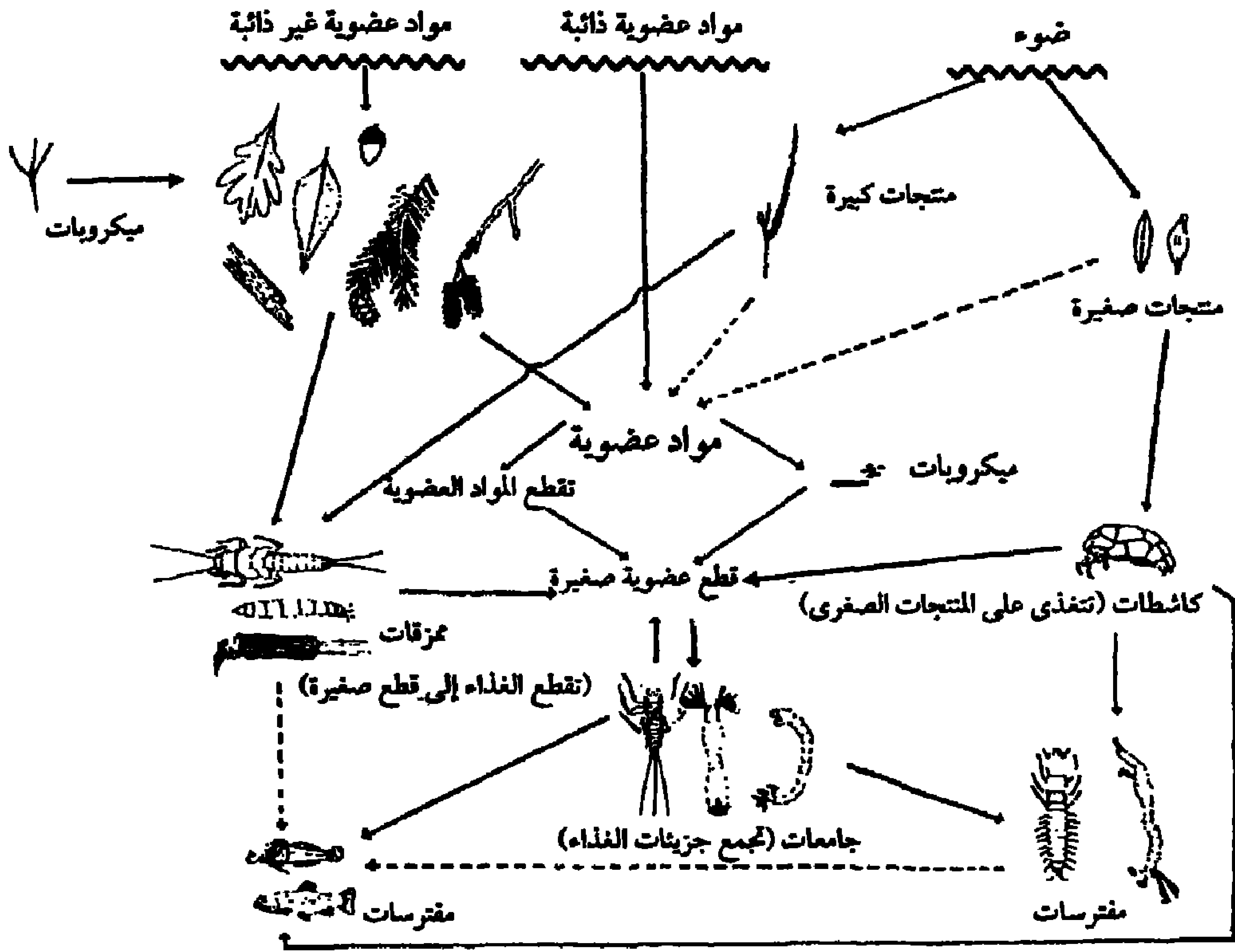
ومن ناحية أخرى أكدت نتائج العديد من الدراسات على الفرض الذى يقضى بأن المفصليات البرية التى تعيش بالقرب من ضفاف الأنهار تؤثر على انسياب الطاقة فى النظام المائى حتى تصل إلى الأسماك ولكن العلاقة بين هذه المفصليات والأنظمة البيئية المائية غير واضحة.

**الحفاظ على اللافقاريات من الانقراض: Lnvertebrate Conservation**

تتضح أهمية اللافقاريات فى الأنظمة البيئية من الدور الذى تلعبه الحشرات فى سريان الطاقة فى النظام البيئى، وقد انتبه علماء البيئة لأهمية هذا الدور وظهرت فى الآونة الأخيرة برامج حفظ الحشرات من الانقراض فى العديد من الدول، وعلى سبيل المثال كان أول نوع يتم الإعلان عن حمايته رسميا هو أحد أنواع النطاط هو *Trimerotropls infanbilils* Orthoptera-Acrididae وقد أعطى (Hoekstra, 1998) دراسة عن الإجراءات التى تمت لحماية هذا النوع من الانقراض فى الولايات المتحدة، وقدم (Foucart and Lecoq, 1998) دراسة عن المخاطر التى تواجه أحد أنواع النطاطات المحمية فى جنوب فرنسا وقد تم وضع خطة فى إنجلترا للحفاظ على أنواع مستقيمة الأجنحة المهددة بالانقراض، حيث تتم تربية العديد من هذه الأنواع فى الأسر للحفاظ عليها من الانقراض فى الطبيعة نظراً لتعديات الإنسان على الأنظمة البيئية. وأخيرا يجب التنويه عن ظهور مجلة علمية متخصصة فى أبحاث حفظ الحشرات من الانقراض وتعرف هذه المجلة باسم Journal of Insect Conservation.








شكل (١٣)

نموذج لنظام بيئى فى جدول يوضح تأثير تغير كم ونوعية المواد الداخلية
على انسياب الطاقة فى النظام البيئى (عن Cummins, 1974)

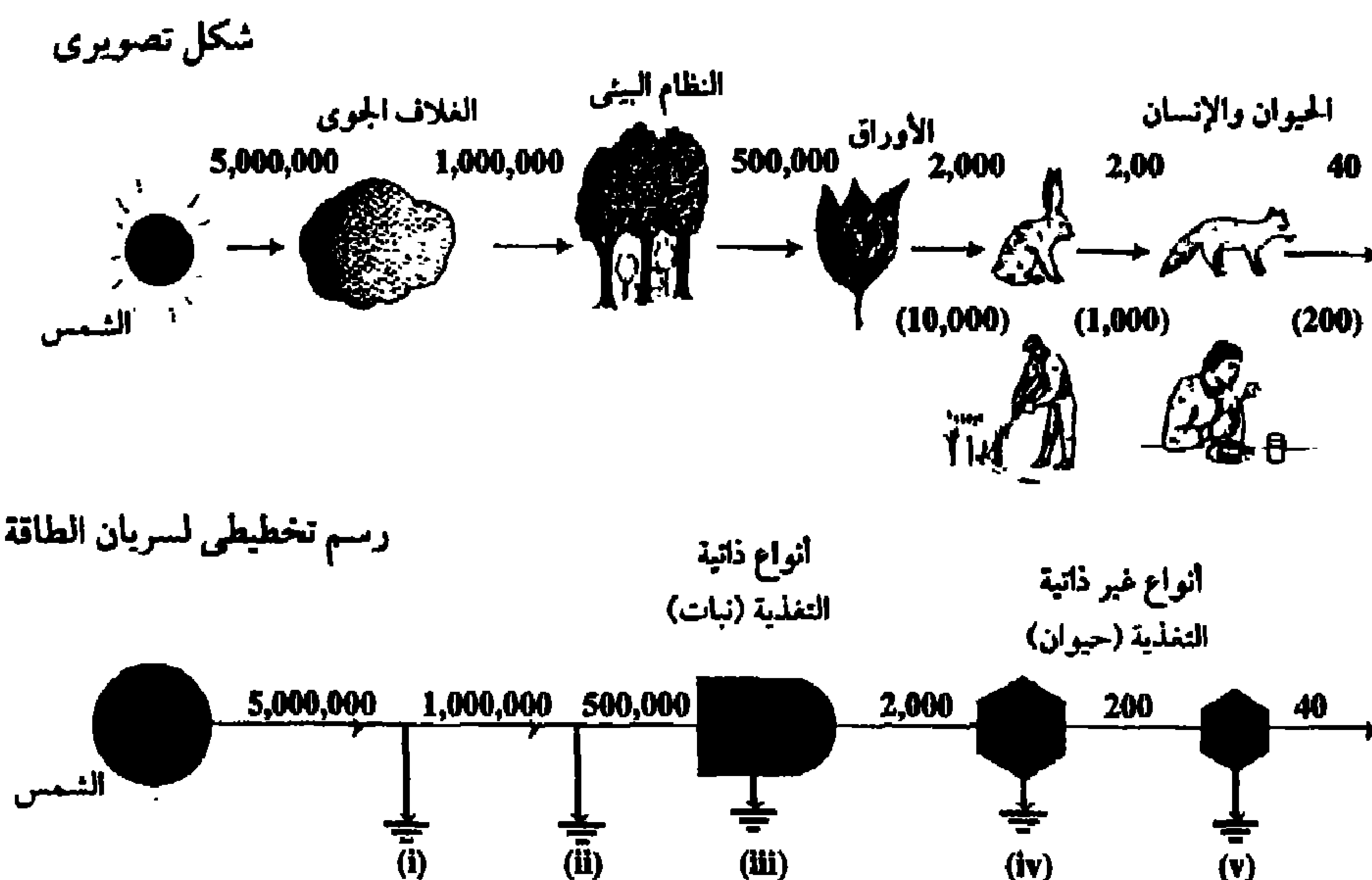
## ٨- ديناميكية انسياب الطاقة: Dynamics of Energy Flow

ذكرنا سابقا أن الطاقة Energy لا تنساب فى النظام البيئى على شكل دورات وسوف يتضح ذلك من مناقشة الدورات «البيوچيوكيميائية» فى النظام البيئى، وقد ناقش (محمد محمد الشاذلى، 2000) النتائج الهامة التى توصل إليها الباحثون من خلال دراسات متعددة لانسياب الطاقة فى النظام البيئى على مستوى الأفراد والآهلات والمجتمعات حيث إن وصول آهلات المجتمع إلى كثافة معينة يعتمد على تثبيت الطاقة بالمنتجات الابتدائية (النباتات) وعلى كم الطاقة الذى يمكن أن ينتقل

بين المستويات الغذائية. وتعرف قابلية المواد لإعطاء الطاقة مع مرورها خلال السلسلة الغذائية بالتأثير «من أسفل لأعلى Bottom-up effect».

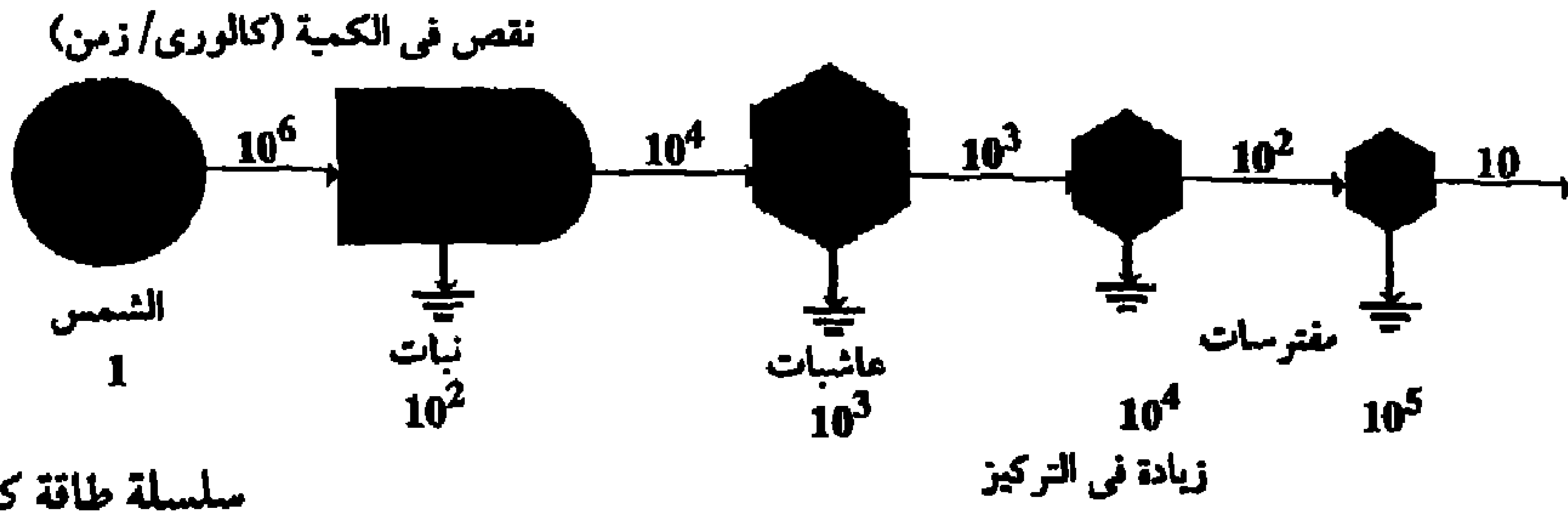
ومن ناحية أخرى يمكن أن تؤثر المفترسات على كافة آهلات الأنواع العاشبة مما يؤدى إلى خفض كمية الطاقة المستهلكة من النبات أو بمعنى آخر «يؤدى تأثير المفترسات على كثافة آهلات العائل إلى إحداث تأثير على كم الطاقة الذى ينساب فى المستويات الغذائية الأدنى «فيما يعرف بالتأثير» من أسفل لأعلى Bottom-up effect». كما تؤثر بعض العمليات الحيوية مثل التنفس وحركة المواد الكيميائية على سريان أو انسياب الطاقة (محمد محمد الشاذلى، 2000).

ويعطى شكل (١٤ -أ) فكرة عامة عن انسياب أو سريان الطاقة فى السلاسل الغذائية، كما يتضح من شكل (١٤- ب) أن تركيز الطاقة يزداد مع نقص شديد فى كميتها أثناء سريانها فى السلاسل الغذائية أو توليد الطاقة الكهربائية (شكل١٤ - ب).

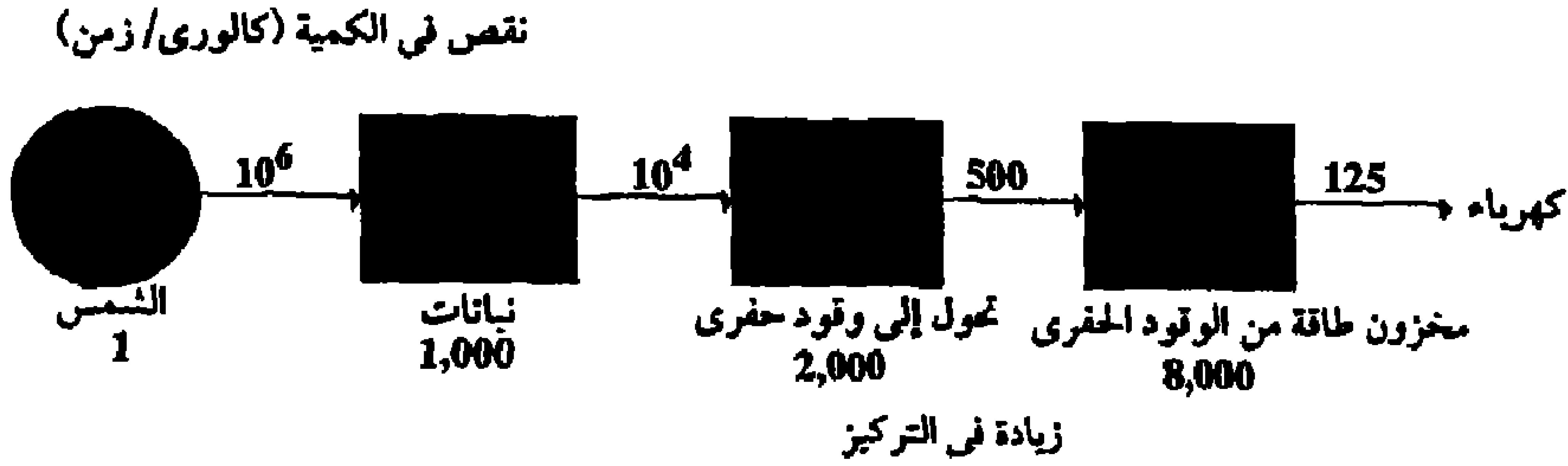



**شكل (١٤): انسياب الطاقة الشمسية فى السلاسل الغذائية (كيلو كالورى لكل متر مربع سنوياً) أعلى شكل تصويرى. أسفل رسم تخطيطى لسريان الطاقة. (عن Odum,1997).**

السلسلة الغذائية




سلسلة طاقة كهربائية




**شكل (١٤ -ب): زيادة تركيز الطاقة يصاحبه نقص فى كمياتها أثناء مرورها فى السلسلة الغذائية وأثناء توليد الطاقة الكهربائية (عن Odum,1997).**

وتعتبر الدراسة التى قدمها (Teal, 1962) من أشهر دراسات انسياب الطاقة فى الأنظمة البيئية. حيث درس حركة الطاقة وانتقالها عبر المستويات الغذائية المختلفة فى أحد المستنقعات المالحة فى ولاية جيورجيا بالولايات المتحدة الأمريكية (شكل١٤جـ). وبإمعان النظر فى هذا الشكل يمكن أن نلاحظ النقاط الآتية:

١- ضوء الشمس الذى يصل إلى المستنقع يعادل ٦٠٠,٠٠٠ كيلو كالورى/ لكل متر مربع / سنويا.

٢- الكم الأكبر من هذه الطاقة غير مستخدم وهذا الكم يعادل ٥٦٣,٦٢٠ كيلو كالورى/ لكل متر مربع / سنويا.

٣- الكم المتبقى من الطاقة الشمسية يستعمل بواسطة نباتات البركة وهى الطحالب Algae ونبات الاسبارتينا *Spartina*.

٤- تفقد الطحالب فى التنفس Respiration كمًا من الطاقة يعادل ١٨٠ كيلو كالورى/ لكل متر مربع / سنويا ويفقد نبات سبارتينا فى التنفس ما يعادل ٢٧,٩٥٥ كيلو كالورى/ لكل متر مربع / سنويا.

سرطانات الطين
31
6
25
59
سرطانات وديدان خيطية
372
3548
23
عناكب
تنفس
2390
خروج من البركة
28
3890
5
224
حشرات
53
27995
بكتيريا 80
305
1620
180
طحالب
سبارتينا
غير مستخدم فى البناء الضوئى
563 620
600 000
ضوء الشمس

**شكل (١٤جـ):**
**انسياب الطاقة فى مجتمع بركة مالحة.**
**الوحدة كيلو كالورى/ م٢/ سنويا (عن Teal, 1962)**

٥- تنتقل الطاقة من المنتجات الرئيسية (الطحالب والنبات) إلى الأنواع التى تليها فى السلسلة الغذائية وهى الحشرات (Insects) والبكتيريا (Bacteria). وانتقال الطاقة يعنى ببساطة أن الحشرات والبكتيريا تتغذى على النبات والطحالب واستخدمت أجسام تلك النباتات (وهى حية أو ميتة) كعناصر غذائية لإنتاج الطاقة.

٦- تتغذى العناكب Spiders على الحشرات وتتغذى السرطانات والديدان Crabs and Nematoda على الطحالب والبكتيريا وبذلك تنتقل الطاقة من الطحالب والبكتيريا إلى السرطان والديدان.

٧- تتغذى سرطانات الطين Mud Crabs على السرطانات والديدان (المذكورة فى الخطوة رقم ٦)، أى أن الطاقة تنتقل من السرطان والديدان إلى سرطان الطين.

٨- ملاحظات عامة: وبإمعان النظر فى الشكل يمكن أن نلاحظ النقاط الآتية:

أ- تقل الطاقة مع الانتقال من مستوى غذائى إلى المستوى الغذائى الذى يليه بسبب تشتت بعض الطاقة بعد خروجها من البركة Export From Marsh، هذا بالإضافة إلى كم الطاقة الذى يستخدم فى التنفس.

ب- تختلف فعالية استخدام وانتقال الطاقة فى المستويات الغذائية المختلفة من السلسلة الغذائية فيما يعرف «بالفعالية الغذائية» Trophic Efficiency وتعبر الفعالية الغذائية عن فعالية انتقال الطاقة من مستوى غذائى إلى المستوى الغذائى الذى يليه، وعلى سبيل المثال:

* نلاحظ أن الفعالية الغذائية للكائنات العاشبة (المغتذيات على النبات) Trophic Efficiency of Herbivores النسبة المئوية لصافى الإنتاج النباتى الذى يتحول إلى أنسجة حية فى الكائنات العاشبة (الكائنات العشبية لا تتغذى على جميع الأنسجة النباتية المتاحة، كما أن كمًّا كبيرا من غذاء الكائنات العاشبة يستخدم لإنتاج طاقة لحركة الحيوان وتكاثره بالإضافة إلى خروج كم من الغذاء غير المهضوم على شكل فضلات برازية).





*كما نلاحـظ أيضا أن الفعالية الـغذائية لآكلات اللحوم فـى المستوى الأول تقل عن الكائنات العاشبـة لنفس الأسباب المذكورة سابقـا والكم المتبقى هو الذى يتحول إلى أنسجة لبناء الأجسام.

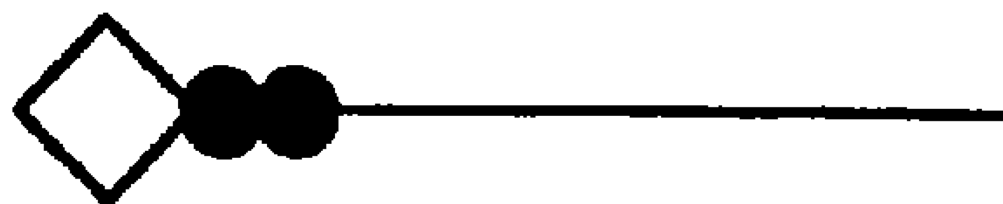
وعموما يمكن القـول بأن: الفعالية الغذائية = النسـبة المئوية من الغذاء التى تتحول إلى أنسجة حـية. ومن ثم فإن الفعالية الغذائية تتنـاقص من مستوى غذائى إلى المستوى الغذائى الذى يليه.

## ٩- الديناميكا الحرارية ونظرية النظام البيئى:

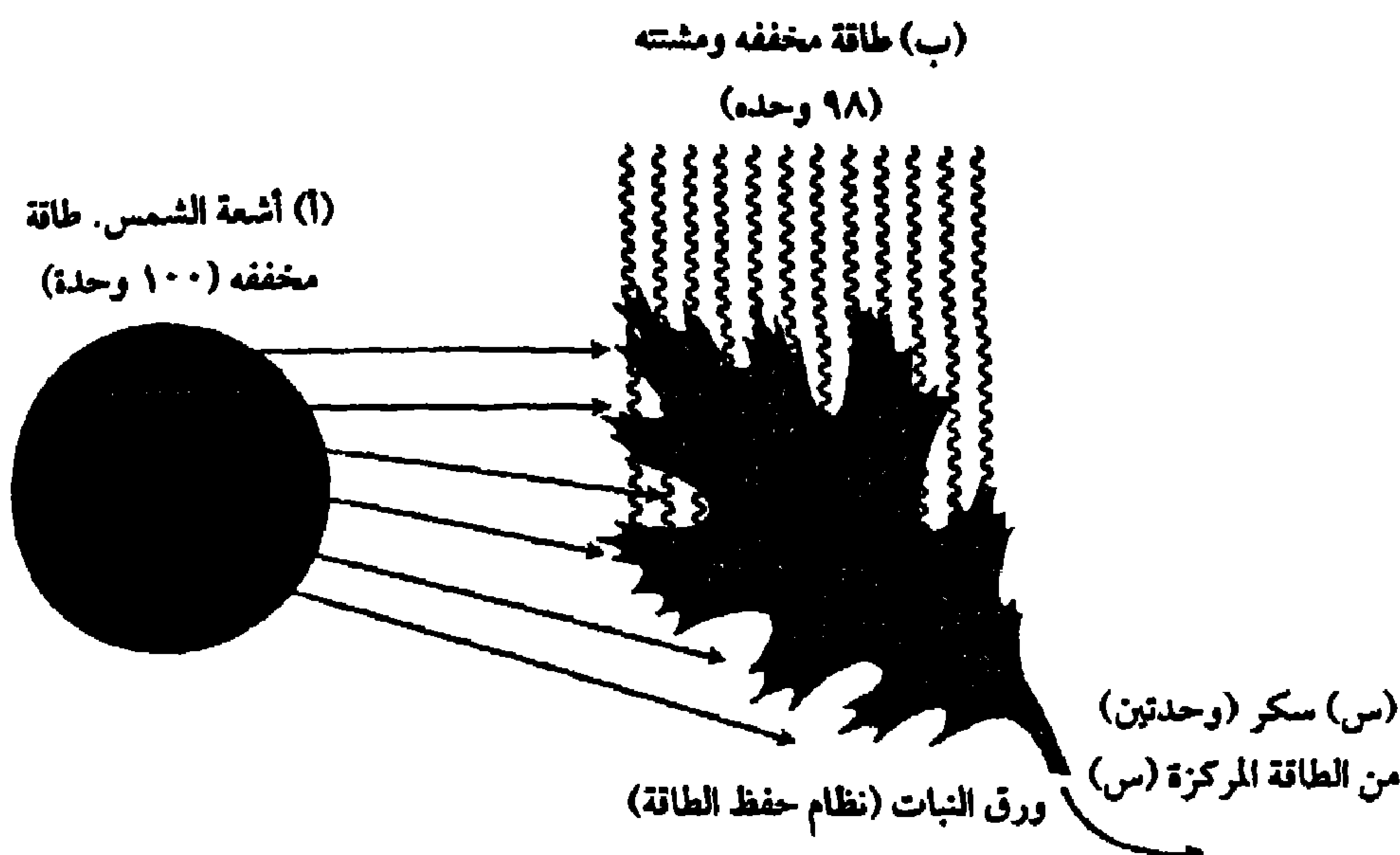
**Thermodynamics and Ecosystem Theory:**

يعـالج علم الديناميكا الحـرارية العـلاقات بين الأشكال المخـتلفة للطاقـة. ويعتمد هذا العلم على ثلاثة قوانين مستمدة من الطبيعة وهى القانون الأول والثانى والثالث للديناميكا الحـرارية هذا بالإضافة إلى القانون الرابع والذى يستـخدم أيضا فى تفسيـر بعض الظواهر البيولوچيـة فى الأنظمة البيئـية. لقد استخـدمت قوانين الديناميكـا الحرارية لوصف تفاعـلات الطاقة بين العناصـر البيولوچيـة والفيـزيائية للنظام البيئى. إن هناك أسبابا منطقية لتطبيق تلك القوانين على النظام البيئى حيث إن هذه القوانين تساعـد على فهم الأنظمة البيئـية من منظور شمولى لأنها تعـتمد على انسياب الطاقـة ودوران المواد، وانسياب الطاقة هو الخاصية الأسـاسية لتكوين نظام بيئى.

إن الأنظمة البيئية، من وجهة نظر الديناميكا الحرارية، ليست أنظمة معزولة؛ نظرًا لأن الطاقـة والمواد تنسـاب فى تلك الأنظمة، حـيث تتـداخل المركبـات فى دورات بيوچيـوكيـميائيـة، أما الطاقـة فهى تضخ يومـيا من الشمـس ولا تخضع لدورات ولكنها تنسـاب من مستوى غـذائى إلى المستوى الذى يليـه، ومن ثم فإن الأنظمة البـيئية لا يمكـن أن تستمر بدون الحـصول على الطاقة الشـمسية لتـغطية احتياجـات الأنظـمة حتى تصـل إلى مـرحـلة التوازن. وبصفـة عـامة فإن الأنظمة البيئية أنظمة مفتوحة وغير متزنة من وجهة نظر الديناميكا الحرارية (شكل ١٥).








**شكل (١٥): القانون الأول والثانى للديناميكا الحرارية، والقانون الأول يطبق بواسطة حفظ الطاقة الشمسية (أ) فى شكل سكريات (س) فى عملية البناء الضوئى (أ = س+ب). القانون الثانى يتطلب أن (س) دائماً أقل من (أ) بسبب تشتت الطاقة (ب). عن (Odum,1997).**

وسوف نوضح فى الجزء التالى كيف يمكن تطبيق القانون الأول للديناميكا الحرارية على الأنظمة البيئية اعتمادا على الأبحاث المقدمة من:

(Patten et al, 1997; Jorgensen et al., 1999; Jorgensen, 2000):-

### حفظ المادة والطاقة Mass and Energy-conservation:

يخضع تحول الطاقة والكتلة إلى القوانين الفيزيائية الأساسية والتى تطبق على جميع الأنظمة الطبيعية بما فيها النظام البيئى. إن المادة لا تفنى ولا تخلق من عدم. ونفس القانون ينطبق على الطاقة، فالطاقة لا تفنى ولا تخلق من عدم. ومن بديهيات علم الفيزياء أن المادة يمكن أن تتحول إلى طاقة والعكس صحيح. ويمكن توحيد القاعدتين باستخدام قانون أينشتين:

$$E = m\,C^2 (ML^2T^{-2}) \qquad (1)$$

حيث: الطاقة = E

الكتلة = m

سرعة الضوء = ٣ × ١٠ ^٨^ م/ث = C

والآن يمكننا أن نقر حقيقتين:

١- النظام البيئى يحفظ الطاقة.

٢- النظام البيئى يحفظ المادة.

يمكن أن نعبر عن تحويل المادة إلى طاقة بالمعادلة الآتية:-

$$dm/dt = input - output\ (MT^{-1}) \quad (2)$$

dm / dt = الإضافة إلى الكتلة - النقص من الكتلة.

حيث الكتلة الكلية للنظام = m.

والمعادلة السابقة (وحدات الكتلة والزمن) فى مجملها تعنى أن الزيادة فى الكتلة تعادل كم الكتلة المضاف إلى النظام مطروحا منه كم الكتلة الخارج من النظام أو فى عبارة أخرى فإن الزيادة فى الكتلة تعادل كم الكتلة الداخل إلى النظام مطروحا منه كم الكتلة الخارج من النظام. والتطبيق العملى للمعادلة السابقة يتطلب وجود حدود معينة للنظام، ويتم استخدام «التركيز» بدلا من «الكتلة» فى صياغة نماذج الأنظمة البيئية:

$$Vdc / dt = input - output\ (MT^{-1}) \quad (3)$$

Vdc / dt = الإضافة إلى التركيز - النقص فى التركيز

حيث:

الحجم الكلى للنظام، ويفترض ثبوته = V.

التركيز = C.

(وحدات التركيز والزمن) $MT^{-1}$

أى أن المعادلة السابقة تعنى أن الزيادة فى التركيز تعادل كم الإضافة إلى التركيز مطروحا منه كم النقص فى التركيز.

وإذا استخدمنا قانون حفظ الكتلة فى المركبات الكيميائية التى يمكن أن تتحول إلى مركبات كيميائية أخرى فسوف تصاغ المعادلة رقم (٣) على الصورة الآتية:



$$V\ dc/dt = \text{input - output + formation - transformation}\ (MT^{-1})$$ ....(4)

V dc / dt= الإضافة إلى التركيز – النقص فى التركيز + التكون – التحول

ويستخدم مبدأ بقاء أو حفظ الكتلة فى العديد من النماذج البيئية المعروفة باسم النماذج البيوجوكيميائية Biogeochemical Models، وعلى سبيل المثال تستخدم المعادلة السابقة فى حساب معدل تراكم بعض العناصر مثل الكربون والنتروچين والسليكون فى البحيرات، حيث يمكن توقع الفترة الزمنية اللازمة لتراكم كم معين من تلك العناصر فى البحيرة.

ولمزيد من المعلومات راجع .(Jorgenson et al., 1999; Joergenson 1982 a,b,).

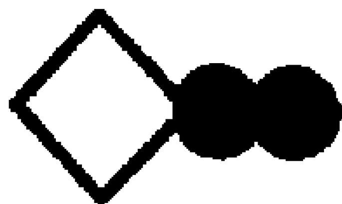
وتستخدم الكتلة لوحدة المساحة فى الأنظمة البيئية البرية فى تطبيق قوانين بقاء الكتلة حيث تنساب المواد عبر السلاسل والشباك الغذائية.

إن الغذاء الذى يتم الحصول عليه فى أحد مستويات السلسلة الغذائية يستخدم فى التنفس والنمو والتكاثر، فضلا عن العمليات الإخراجية ويعنى النمو والتكاثر صافى الإنتاج ومن ثم فيمكن أن نقرر:

net production = intake of food - respiration - excretion - wasted food ...(5)

الإنتاج الصافى = الغذاء المستخدم – التنفس – الإخراج – فضلات الغذاء

ويطلق على معدل صافى الإنتاج بالنسبة إلى الغذاء المستخدم «صافى الفاعلية» "Net Efficieny" ويعتمد صافى الفاعلية على العديد من العوامل ولكنه لا يتجاوز ١٠-٢٠٪ أي نسبة صافى الإنتاج إلى الغذاء المستهلك لا تتجاوز ١٠-٢٠٪. ومن المعروف أن المواد السامة لا تفقد فى الكثير من الأحوال أثناء التنفس أو الإخراج مثل المركبات الغذائية الطبيعية، ومن ثم فإن صافى الفاعلية للمواد السامة أعلى من صافى الفاعلية للغذاء الطبيعى ومن أمثلة ذلك مركب DDT حيث يتعاظم تركيزه فى أجسام الكائنات الحية فى المراحل المتتالية من





السلاسل الغذائية ومن أهم أسباب ذلك قابلية DDT والمركبات الشبيهة للذوبان فى الأنسجة الدهنية للأجسام الحية ولا تكون مجموعات الكائنات الدقيقة قادرة على تفكيكها Non- Biogoadable ومن ثم فإنها تخرج من الجسم ببطء شديد وتتراكم فى محيط البيئة.

إن مبدأ حفظ الطاقة والذى يسمى القانون الأول للديناميكا الحرارية بدأ من خلال ملاحظات Rumford عام ١٧٧٨ حين لاحظ الكم الكبير من الحرارة الذى يظهر عند عمل ثقب فى جسم معدنى، وافترض أن طاقة الشغل الميكانيكى تتحول إلى حرارة بواسطة الاحتكاك وبناء على ذلك افترض Rumford أن الطاقة الحرارية تظهر نتيجة تحول أنواع أو أشكال أخرى من الطاقة.

وفى عام ١٨٤٣ صاغ الكيميائى المعروف J. P. Joule علاقة رياضية بين كم الحرارة المنبعث والطاقة الميكانيكية المشتتة.

وأخيرا اكتشف فزيائيان ألمانيان، هما Mayer وHelmholtz أنه «عند تمدد الغاز فإن الطاقة الداخلية للغاز تقل بدرجة تتناسب مع كم الشغل المبذول»، وقد أدى هذا إلى صياغة القانون الأول للديناميكا الحرارية والذى ينص على أن «الطاقة لا تفنى ولا تخلق من العدم» وإذا ما افترضنا أن الطاقة الداخلية (ميكانيكية أو كهربائية أو كيميائية ... . إلخ) لأى نظام هى "U"، فإن:

$$dQ = du + dw \quad (ML^2 T^{-2}) \quad (6)$$

حيث

* الطاقة الحرارية التى أضيفت إلى النظام = dQ
* الزيادة فى الطاقة الداخلية للنظام = du
* الشغل المبذول بواسطة النظام فى بيئته = dw

ويخضع تحويل الطاقة الشمسية إلى طاقة كيميائية فى عملية البناء الضوئى للنبات مباشرة إلى القانون الأول للديناميكا الحرارية، وبالنسبة للمستوى التالى فى السلسلة الغذائية (الحيوانات آكلة النبات)، فإنه يمكن التعبير عن توازن الطاقة بالعلاقة الآتية:





$$F = A + UD = G + H + UD, (ML^2 T^{-2}) \text{ ......... } (7)$$

حيث

كم الغذاء المستهلك محولا إلى وحدة طاقة (جول) = F

الطاقة الممثلة من الغذاء = A

الغذاء غير المهضوم أو الطاقة الكيميائية للفضلات = UD

الطاقة الكيميائية اللازمة لنمو الحيوان = G

طاقة التنفس الحرارية = H

ويتطلب تطبيق العلاقة السابقة تحويل كم الغذاء المستهلك (كتلة) إلى وحدات طاقة، وقد وجد أن محتوى الطاقة للمركبات العضوية يتراوح من ١٦ إلى ٢٤ كيلو جول / جرام، ومن ثم فإنه يمكن تطبيق العلاقة السابقة بشكل مباشر على الكائنات الحية.

هناك علاقة بين معدل انسياب الطاقة وحجم الكائن الحى، فالنظام البيئى يحتوى على الكائنات الحية التى تتفاوت فى أحجامها من الميكروبات غير المرئية بالعين المجردة، حتى الأشجار الضخمة والثدييات كبيرة الحجم. الكائنات الصغيرة تستهلك كمًّا كبيرًا من الطاقة للتنفس، بينما تكون الكائنات الكبيرة الجزء الأكبر من الكتلة الحيوية.

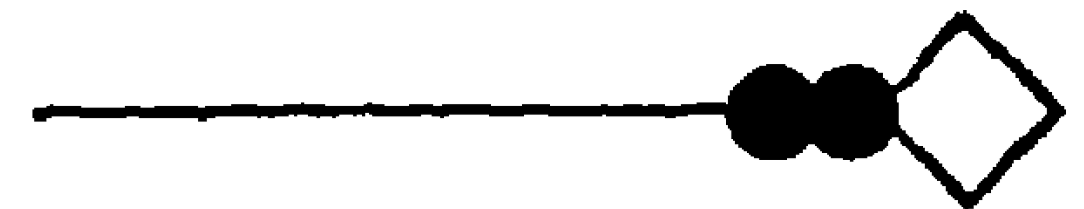
يمكن وصف العمليات البيئية على أنها القوى المحركة أو الناقلة للحركة (X) Driving Force متزنة بقوة الاحتكاك التى تنمو متناسبة مع معدل الانسياب (J) Rate of Flow، ومن ثم يوجد توازن في القوى

$$X = R J \text{ ......... } (8)$$

حيث: R هي المقاومة

ويمكن بسهولة ملاحظة أن المعادلة رقم (٨) تتوازى مع قانون أوم الشهير Ohm's low والذى ينص على أن $[L = \frac{1}{R}]$ ، حيث "L" تشير إلى التوصيل Conductivity، ويمكن صياغة المعادلة القادمة (معادلة ٩) طبقا لقانون





Onsager, 1931 الذى ينص على أن (Lij = Lji) ، مغطيا التوصيل لمكونين متفاعلين Two Interacting Components.

$$J = LX \quad \text{.............................} \quad (9)$$

ويمكن وصف ديناميكية الأهلات (العشائر) بنفس الطريقة، على سبيل المثال فإن الأيض J لعشيرة تعدادها N هو:

$$J = LN \quad \text{.............................} \quad (10)$$

والانسياب هنا هو انسياب الغذاء فى السلاسل الغذائية معبرا عنه فى وحدات مثل كم الكربون لكل متر مربع لوحدة الزمن فى نظام بيئى معين، أما القوى فهى دالة تركيز المركبات العضوية والكتلة الحيوية

الطاقة هى القوى المحركة للأنظمة البيئية، ولكنها تنساب بمعدلات مختلفة فى الأنظمة البيئية المختلفة، ومن ثم فإن هناك قيما مختلفة لمكافئ الطاقة الشمسية فى المناطق المختلفة، ويجب توحيدها للوصول إلى مكافئ واحد على مستوى الكرة الأرضية (Odum, 1983).

يمكن اعتبار قانونى حفظ الطاقة والكتلة محددين للعمليات فى النظام البيئى حيث إن فحوى القانونين هو أن «لا شيء يأتى من لا شيء» وتخضع جميع النماذج البيئية لذلك المبدأ.

يجب تضمين مبدأى حفظ الطاقة والماده فى معادلات النمو البيئى، على سبيل المثال فى معادلة ميشيل ـ مينتون Michaelis - Menten's

$$\lambda = \lambda_{max} S / (K_m + S) \quad \text{.............................} \quad (11)$$

حيث

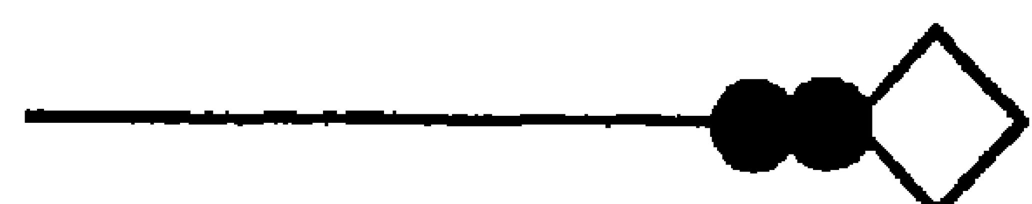
* العامل المحدد «مثل تركيز المواد الغذائية فى التربه بالنسبة للنبات» = S

* معدل النمو = $\lambda$

* الحد الأعلى لمعدل النمو = $\lambda_{max}$

* ثابت ميشيل - مينتون = $K_m$





يتضـمن قانون بقـاء المادة وجود حـدود للكتلة الحيـوية لوحدة المسـاحة أو الحجم، وتظهر كتلة حيوية جديدة عندما تنعدم أو تقل العوامل المحددة لنمو الكتلة الحيـوية، فعلى سـبيل المثـال تحتـاج الهوام النبـاتية Phytoplanktons إلى عنصر الفسفـور كأحد المغذيات الضرورية لنمـوها وتحتوى أجسامـها على حوالى ١٪ من الوزن من عنصر الفسفور، ولكن تركيز الفسفور فى الطبيعة يتراوح بين ٤ , ٠٪ إلى ٥ , ٢٪ وهذا يعنى أنه فى حالة وجود الفسفور فى الطبيعة بتركيز يعادل الحد الأدنى (٤ , ٪) فإن نمـو الهوام النبـاتية يتـوقف حيث إن الفـسفـور هنا هو أحد العـوامل المحددة لنمـو الهوام ولا تنمو الكتلة الحـيوية (الهوام فى هذه الحـالة) إلا فى حالة ارتفاع تركيز الفسفور.

إن الأنظمـة البـيـئـيـة الناضـجـة أو تامـة النمـو Developed or Mature Ecosystems تحتوى على نسب صغـيرة من المغذيات غير العضـوية (التى تستخدم لإنتاج الكتلة الحيوية النباتية) حيث إن معظم المغـذيات غير العضوية قد استخدمت أصلا لبناء الكتلة الحيوية فى المراحل السابقة لنمـو الأنظمة البيئية، ومن ثم فإن نمو واستـمرار مثل هذه الأنظمـة يعتمد على دورات المغـذيات، وهذا يؤكد الاعتـماد المشترك لمكونات النظام البيئى على بعضها البعض.

هناك أربع خصائص تميز الأنظـمة البيئية من حيث مـبدأ حفظ الطاقة والمواد وتلك الخصائص هى:-

١- هناك أربعـة بنيـات للمادة يمكن أن نميـزها فى المحيط الحـيوى بتطـبيق مبادئ حـفظ الطاقة والكتلة وهى البنية الصلبـة (اليابسة) Lithosphere، والبنية الغـازية (الغلاف الجوى) Atmosphere، والبنية السـائلة (الغلاف المائى) Hydrosphere، والحـالة الحيـة (الغـلاف الحيـوى) Biosphere، ويمكن أيضـا أن نضـيف حـالة خامـسـة وهى (الغـلاف التكنولوجى) Technosphere، و(الغلاف المعلوماتى - سيمايوسفير) Semiosphere.





٢- جميع الأنظمة لها القدرة على التماسك أو الترابط (التفاعل)، وهذا الترابط يمكن أن يكون ترابطا متحفظا يتضمن تبادل المواد Substanse Exchange أو غير متحفظ أي يتضمن تبادلا للمعلومات Information Exchange.

٣- يمكن وصف نموذج كونى بعدى Universal Metamodel لتغير النظام حيث يمكن الوصول من خلال النموذج إلى ديناميكية لسلوك النظام Behavioral Dynamics عن طريق تحديد العلاقة بين المدخلات Inputs (الظروف الخارجية) المحيطة بالنظام والحالة الموجود عليها النظام State وما يترتب على دخول تلك المدخلات من تغير لديناميكية النظام (المخرجات- Out Puts). وبصفة عامة توجد حالتان أساسيتان فى الفراغ وهما الحالة المادية أو الأشياء غير الحية التى تستجيب بشكل مباشر إلى المدخلات الفيزيائية والحالة المعنوية أو الحالة الحية وهى تستجيب إلى الظواهر المعتمدة أو المتوقفة على المدخلات الفيزيائية.

٤- الوقت يحفظ أو الزمن لا ينعدم (طبقا للقانون الثانى للديناميكا الحرارية ولكن الزمن يتحرك بشكل غير عكسى) والفراغ يحفظ أيضا بشكل محلى Space is conserved localy.

## ١٠- رموز أودام Odum's Symbols:

أعطى Odum et al عام ٢٠٠٠ (Odum et al., 2000) بعض النقاط والمبادئ الأساسية اللازمة لدراسة حركة الطاقة فى النظام البيئى، وسوف نعطى موجزًا لبعض تلك النقاط والمبادئ بعد التعرف بالرموز التى وضعها (Odum et al., 2000) للتعبير عن مسارات وديناميكية الطاقة فى الأنظمة البيئية.

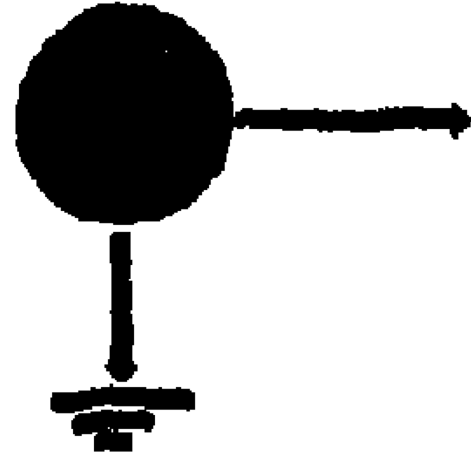
### رموز أنظمة الطاقة Energy Systems Symbols:

أ- إطار النظام Systems Frame: مستطيل يمثل حدود النظام المختار.

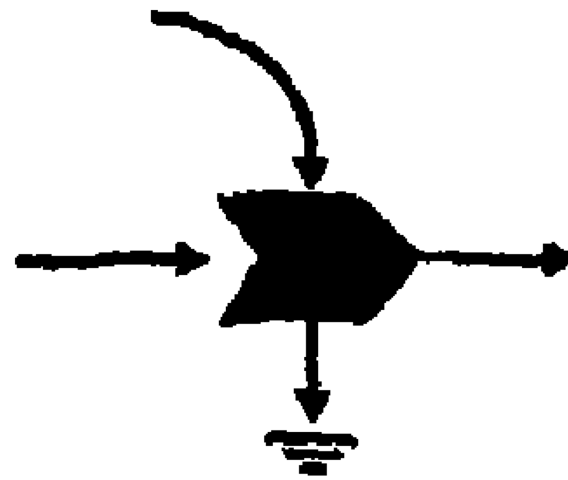


ب - خط مسار الطاقة Pathway Line: يشير إلى اتجاه الطاقة والمواد بسهم.

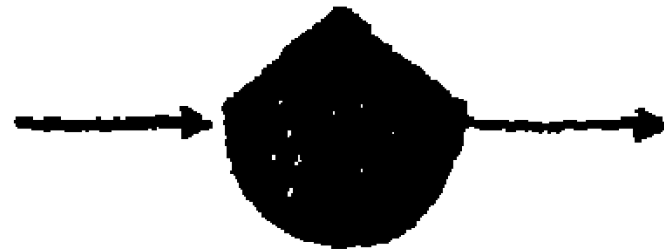




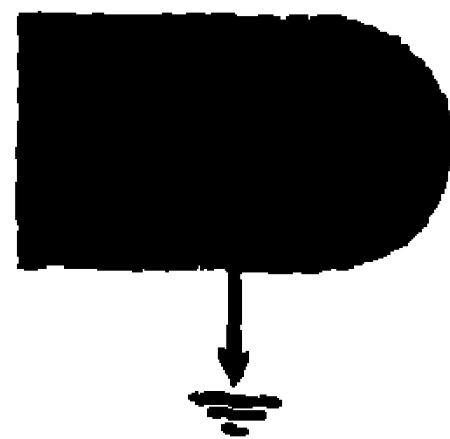
ج - مصدر للطاقة Energy Source:



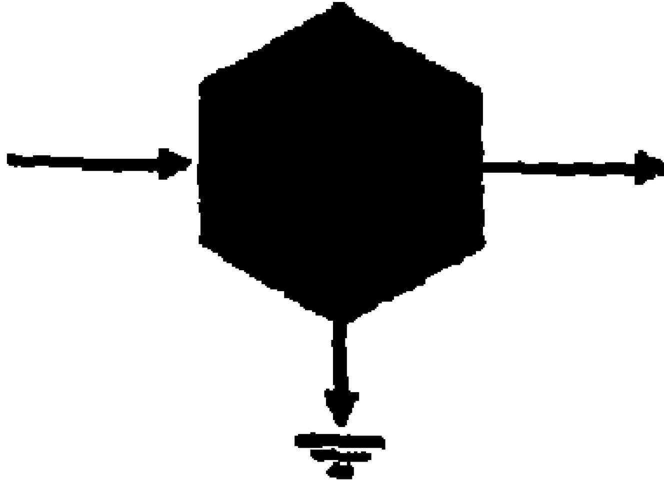
د- تفاعل Interaction: عمليات تربط اتحاد أنواع مختلفة من انسياب الطاقة لإنتاج مخرجات طاقة أعلى فى الجودة.



هـ - تخزين Storage: مكون لتخزين الطاقة داخل النظام.



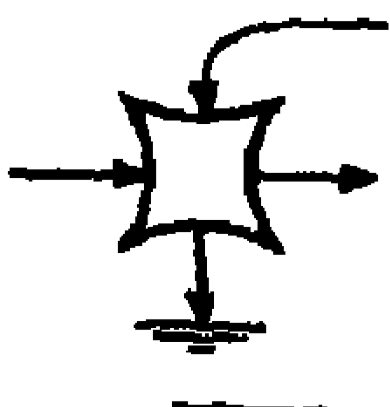
و - منتج الطاقة Producer: وحدات تحويل وتركيز الطاقة الشمسية.



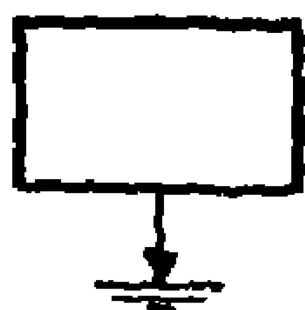
ز- مستهلك Consumer: يستهلك الطاقة التى تم تحويلها وتركيزها.



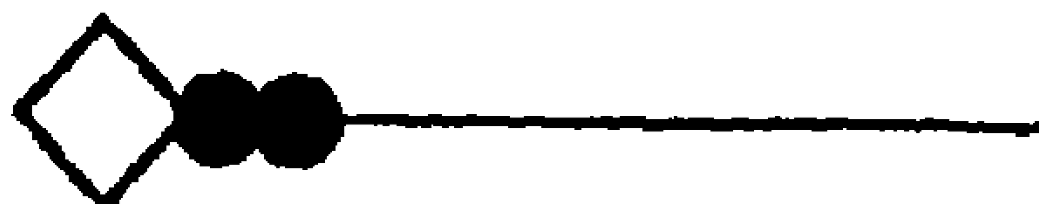
ح - تعامل Transaction: وحدة لتبادل البضائع أو الخدمات (خط غير متقطع)، من أجل المال (خط متقطع).



ط- عملية تبديل Switching Action: رمز لتحديد وظائف بداية وتغير اتجاه انسياب الطاقة.



ى - صندوق Box: رمز متعدد الدلالة لوحدات ووظائف مختلفة.





## ١١- أسس دراسة حركة الطاقة فى النظام البيئى:

يعطى شكل (١٦) شكلا توضيحيا لنظام بيئى برى ومائى نموذجى وقد تم استخدام الرموز التى وضعها (Odum et al., 2000) لإيضاح حركة الطاقة فى النظام. وسوف نعطى فى النقاط التالية ملخصا لبعض النقاط والمبادئ الأساسية اللازمة لدراسة ديناميكية انسياب الطاقة فى النظام البيئى (الموضحة فى شكل ١٦)، والتى يمكن تلخيصها فيما يلى:-

١) تعريف ووضع إطار لتغيرات الطاقة المطلوب دراستها.

٢) يتم اختيار حد (Boundary) لتعريف مدخلات الطاقة.

٣) الكيانات الصغيرة يتم تجميعها، على سبيل المثال يمكن الإشارة إلى ممر واحد للطاقة لجميع الكائنات الدقيقة.

٤) حركة انسياب الطاقة المشار إليها بالأسهم يمكن أن تشتمل أو لا تشتمل على مرور المواد والمعلومات.

٥) يعبر عن المصدر الكلى المتاح لمنطقة ما، وهو مجموع مدخلات الطاقة مجتمعة بلفظ "Emergy" بدلاً من "Energy". وقد عرف لفظ Emergy (إيمرچى) على أنه كمية الطاقة (من نوع واحد) المستخدمة بشكل مباشر أو غير مباشر لإنتاج انسياب فى الطاقة أو تخزينها فى منتج (Odum, 1983, 1996; Odum et al., 2000) (راجع شكل ١٦). وقد اعتبر العلماء أن «الأيمرچى» Emergy هى ذاكرة الطاقة، ووحدة «الإيمرچى» Emergy هى الإيمچول Emjoul أو الإيكالورى Emcalorie. وللمزيد من المعلومات حول سبب استخدام اصطلاح إيمرچى Emergy لدراسة انسياب وتحولات الطاقة فى الأنظمة البيئية يمكن الرجوع إلى: Odum, .1983,1996; Scienceman, 1987; Odum et al.2000

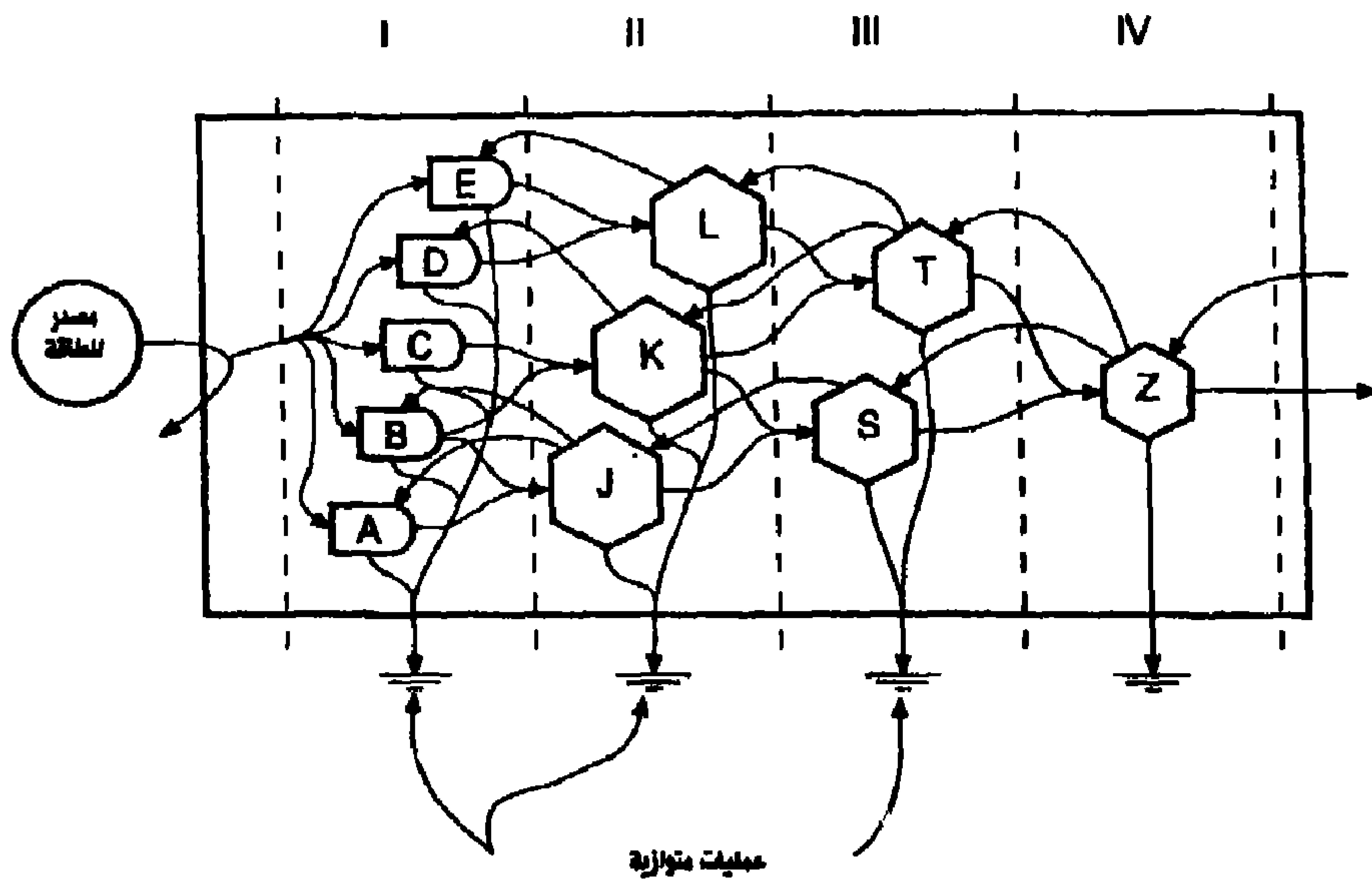
شكل (١٦): شكل توضيحى غطى لنظام بيئى برى أو بحرى
عن (Odum et al., 2000)

### تسلسل (تصاعد - هرمية) الطاقة Energy Hierarchy:

تربط العمليات الجيولوجية والغلاف الجوى والأنظمة البيئية والمجتمعات البشرية ومجتمعات الكائنات الحية، ترتبط كل تلك المكونات بمصدر واحد للطاقة (الشمس)، وتلك المكونات تتبادل الطاقة فيما بينها، فكل من تلك الكيانات يستقبل الطاقة والمكونات من الآخر وجميع المكونات تنتظم بشكل تلقائى عبر الزمن والفراغ وطريقة الاتصال.

حيث إن كل شىء يحتوى على طاقة بما فى ذلك المعلومات (راجع المعلوماتية فى النظام البيئى- الفصل السابع)، وحيث إن كل عمليات النظام البيئى تشتمل على تحولات فى الطاقة، ولما كان النظام البيئى (كما ذكرنا فى الفصل الثانى) يتسم بالتسلسل أو الطبقية، فإن الطاقة فى النظام البيئى تتحرك بشكل متدرج، فالطاقة فى النظام البيئى يمكن أن توجد على شكل شبكة (شكل ١٧).

وسوف نعطى مثـالاً مبسطًا لتوضيح ذلك: خلايا الأوراق فى النبـات تجمع الطاقة لتمد بها جذع الشجرة للنمو، وتدخل الشـجرة فى السلاسل الغذائية حيث تتحول لتعطى منتجا نـهائيا يحتوى على كم من الطاقة «أقل» من مـحتوى الطاقة الأصلى للشجرة وهذا يعنى أن الشـجرة تقع فى مستوى أعلى فى التـسلسل الهرمى للطاقة عن الكائنات المغتذية عليها. . . . وهكذا يمكن أن تدرك وجود تسلسل هرمى (من الأكبـر إلى الأصغر) فى حـركة وانسيـاب وتوزيع الطاقة فى النظام البـيئى (راجع رموز أودام وشكل ١٧).




شكل (١٧): مستويات التسلسل فى الطاقة: ويوضح الشكل شبكة للطاقة توضح العمليات الموازية والمستويات المختلفة للطاقة
عن (Odum et al., 2000).





## - مراجع مختارة:

### أولا المراجع العربية:

- محمد محمد الشاذلى (٢٠٠٠): مبادئ علم بيئة الحشرات، الدار العربية للنشر - مصر.

- محمد محمد الشاذلى؛ على على المرسى (٢٠٠٠): علم البيئة العام والتنوع البيولوجى - دار الفكر العربى - مصر.

### ثانيا: المراجع الأجنبية:

**Barry, R.G. 1969.** The world Hydrologyical Cycle: 11-29. In R.J. Chaorley (ed.) Water. Earth, and Man-Barnes and Nobil New York.

**Bolin, B, 1983.** The Crbon Cycle In Bolin, B and Cook (Eds) The Major Biogechemical Cycles and their interactions Scope- 21 John Wiley.

**Chapman, J.L. and M.J. Reiss. 1995.** Ecology: Principles and Applications Cambridge Low Pice Edition.

**Cummins, K.W. 1974.** Structure and function of stream ecosystem. Bioscience 14:631-641.

**Elton, C. 1927.** Animal Ecology. Metuen (Reprinted 1971).

**Foucart, A. and Lecoq, M. 1998.** J. Insect conservation 2:187-193.

**Gribbin, J. 1988.** The Greenhouse Effect. New Scienist Inside Science 22 October: 1-4.

**Hoekstra, J. M. 1998.** J. Insect conservation 2:179 - 185.

**Jorgensen, S. E., 1976.** Aeutrophication modei for a lake. Ecol. Modelling 2: 147-165.





**Jorgensen, S. E., 1982a.** A holistic approach to ecological modelling by application of thermodynamics. In: W. Mitsch et al. (Editors). Systems and Energy. Ann Arbor.

**Jorgensen, S. E., 1982b.** Modelling the eutrophication of shallow lakes. In: D. O. Logofet and N. K. Luchyanov (Editors). Ecosystem Dynamics in Freshwater Wetlands and Shallow Water Bodies, Vol. 2. UNEP7SCOPE (United Nations' Environmental Program/Scientific Committee on Pollution of the Environment). Academy of Sciences, Moscow, 125-155.

**Jorgensen, S. E., 1988.** Fundamentals of ecological modeling (2nd. Ed.). Amsterdam (Elsevier).

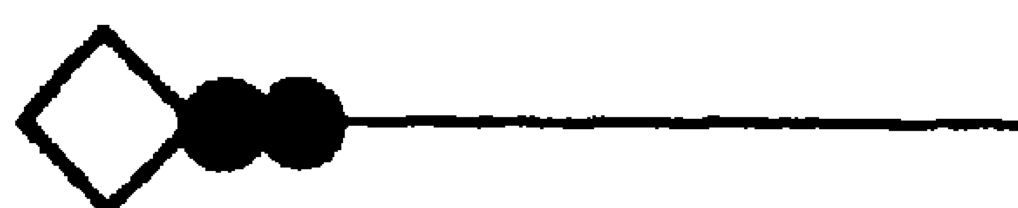
**Jorgensen, S. E., 1995.** The growth rate of zooplankton at the edge of chaos: ecological models. J. Theor. Biol. 175 : 13-21.

**Jorgensen, S. E., Mejer, H. F. and M. Friis, 1978.** Examination of a Lake Model. Ecological Modelling 4:253-279.

**Jorgensen, S. E., 2000.**A general outline of Thermodynamic approaches To ecosystem Theory- In Jorgensen, S.E. and Muller, F. (eds.) Handlook Publishers. Boca Raton London New Yord Wahington, D.C.

**Jorgensen, S. E., Patten, B. C. and M. Straskraba, 1999.** Ecosystem emerging: 4. Growth. Ecol. Modelling (In press).

**Odum E. P., C. E. Connell and L. B. Davenpot. 1962.** Population energy flow of three primary conrumer components of old field ecosystem. Ecology 27: 55-112.





**Odum, H. T. 1957.** Trophic structure and productivity of silver springs. Florid Ecol. Monogr. 17:55-112.

**Odum, H. T. 1983.** Systems Ecology. John Wiley Sonc.

**Odum, H. T. 1996.** Environmental accounting. Emergy and environmental decision making John Willey Sons.

**Odum, H. T. 1997.** Ecology: A bridge between Science and society. Sinauer associates, Inc. USA.

**Odum, H. T., M. T. Brown and S. Ulgiati. 2000.** Ecosystem as energetic system, In S. E. Jorgensen and F. Muller (eds.) Handbook of ecosystem theories and management, pp: 281-302. Lewis Publiisher. USA.

**Onsager, L. 1931.** Reciprocal relations in irreversible Processes, I. Phys. Rev.

**Pain, S. 1988.** How The Heat Trap Will Wreak Ecological Havoc. New Scoentist 15 October- 22.

**Patten, B. C. (Ed.). 1971.** Systems analysis and simulation in ecology. Vol. 1. New York.

**Patten, B. C. (Ed.). 1972.** Systems analysis and simulation in ecology. Vol. 2. New York.

**Patten, B. C. (Ed.). 1975.** Systems analysis and simulation in ecology. Vol. 3. New York.

**Patten, B. C., 1982.** Environs: relativistic elementary particles for ecology. Am. Nat. 119:179-219.

**Patten, B. C., 1991.** Network ecology: indirect determination of the life-environment relationship in ecosystems. In: M. Higashi and T. P. Burns (Eds). Theoretical Studies of





Ecosystems: The Network Perspective. Cambridge University Press, 288-351.

**Patten, B. C., 1992.** Energy, emergy and environs. Ecol. Modelling 62:29-70.

**Patten, B. C., M. Straskraba, and S.E. Jorgensen. 1997.** Ecosystem Emerging: 1. Conservation. Ecol. Modeling 96: 221-284.,

**Peel, D.A. (1989).** Ice-age Cluse For Warmer Word. Nature 339: 508-509.

**Philipson, 1966.** Ecological enerqetics, Arnold London.

**Price, P. W. 1984.** I nsect Ecology. John Wiley Sons. USA.

**Salisury, F. B. and C. W. Ross. 1985**. Plant Physiology. Wades-worth Belmont.

**Searl, C. 1987.** Wetter Weather Inked To Greenhouse Effect. New Scientist July. 27.

**Scienceman, D., 1987.** Energy and Emergy. In Pillet, G. and T. Murota (eds.) Environmental Economics, Toland Leimgruber, Geneva.

**Simmons, I. G. 1981.** The Ecology of Natural Resouces. 2n Edition. Edard Arnold. London.

**Stiling, P. 1992.** Introductory Ecology. Prentice Hall, Inc.

**Strcit, B. 1995.** Experentia15:425-436.

**Teal, J. M. 1962.** The Energy Flow in Small Marsh Ecosystem of Georgia. Ecology 43: 614-624.





**Transeau, E. N. 1926.** The Accumulation of Energy By Plants Ohio J. Science. 26: 1-10.

**Van Der Leeden, F. 1975.** Water Resources of the World. Lected Statistics. Water. Information Center, Port Washington. N. Y.

**Van Hylchama, T.E.A. 1975.** Water Resources: 147-165. In land, Mass.

**Varley, G.G. 1970.** The Concept of Enegry Folw Applied To a Woodland Community In Watson A. (Editor). Animal Population in Relation To The Food Resources. A Symp. Of. Britrish. Ecological Socitey. Blakwell Scientific Publication. Oxford.

**Whittaker R. H. 1975**, Communities and Ecosystems Mac Millan, New York.

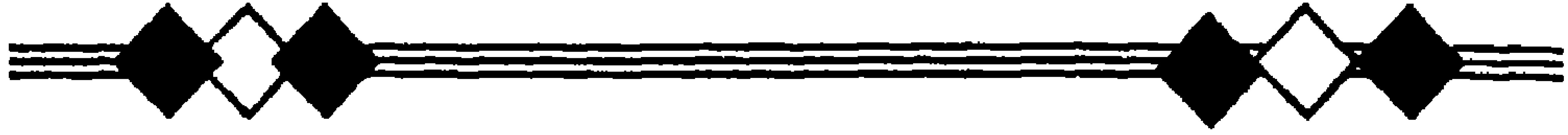
**Wiegert, R. L. and Fic. Evans 1967.** Investigations on secondary productivity in grass londs. In K. Petruseqicz (ed.) secondary productivity in terrestrial ecosystem: 499-518. Insdect Ecol. Polish Acad. Sci. Warsaw.





# الفصل الخامس

## حركة العناصر فى النظام البيئى
## وتأثر الكرة الأرضية



**١- الدورات البيوجيوكيميائية**

أ- دورة النتروچين

ب - دورة الفسفور

جـ- دورة الماء

- بذل مصادر المياه

- الماء الجارى

د - دورة الكربون

هـ - تأثير الصوبة النباتية

**٢ - مصادر وعناصر أخرى تؤدى إلى ارتفاع درجة حرارة الأرض**

أ- الميثان

ب- أكسيد النيتروز

جـ- الأوزون

د- الكلورفلوركربونات

هـ - تغير المناخ

**- مراجع مختارة**

## ١- الدورات البيوجيوكيميائية: Biogeochemical Cyclings

تختلف دورات المواد الكيميائية فى النظام البيئى عن حركة أو سريان الطاقة. لأن تحول الطاقة من صورة إلى صور أخرى يصاحبه «فقد» فى جزء من الطاقة، أما المواد الكيميائية فلا تعانى من «الفقد» عندما تتحول من شكل إلى شكل آخر أثناء مرورها فى السلاسل الغذائية، فنجد أن تحول المواد الكيميائية من أنسجة نباتية إلى أنسجة حيوانية لا يصاحبه أى فقد فى كم هذه المواد، وبالمثل لا يحدث أى فقد فى الكم عند تحلل المواد العضوية إلى عناصر بسيطة. وخلاصة القول أن الطاقة تسرى فى اتجاه واحد أما حركة المواد الكيميائية فتتخذ شكل دورات.

تعتبر العديد من الدورات البيوجيوكيميائية مثل دورة المياه أو الكربون أو النتروچين أو الفسفور. . . . إلخ ذات أهمية بالنسبة لعلم البيئة (Bolin et al, 1979; Bolin, 119811; Wood Well, 1984; Bolin and Kook, 1983; Ivanov and Frenery, 1983) بالإضافة إلى دورات المواد الكيميائية التى يضيفها الإنسان للبيئة مثل المبيدات الحشرية ومخصبات التربة حيث تتداخل هذه المواد مع الدورات الطبيعية.

### أ- دورة النتروجين: Nitrogen Cycle

تعتبر دورة النتروچين من الدورات الهامة فى النظام البيئى نظراً لأن عنصر النتروچين يدخل فى تركيب الأحماض الأمينية والبروتينات التى تعتبر العناصر الأساسية فى جميع أشكال الحياة، ومن ثم يعتبر النتروچين من العوامل التى تحد من نمو النبات. وقد أعطى (Delwiche, 1970) معلومات تفصيلية عن دورة النتروچين فى الطبيعة ويمكن تلخيص دورة النتروچين كما يلى:

يتحول النيتروچين الجوى إلى مركبات نتروچينية بواسطة البرق والتثبيت البيولوچى Biological fixation والعملية الأخيرة هى تحول النتروچين إلى أحماض

أمينية ونيترات يمكن أن تستعين بها الكائنات الحية ويشتمل التثبيت البيولوچى للنتروچين على عدة خطوات أو مراحل (شكل ١) يمكن تلخيصها فيما يلى:

**تثبيت النتروجين: Nitrogen Fixation**

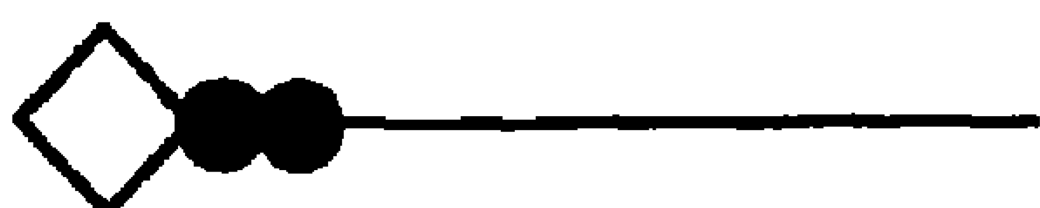
يتحول النتروچين إلى أمونيا بواسطة بكتيريا التربة مثل Chostridium, Azotobacter وبعض الطحالب الخضراء المزرقة التى تعيش فى الماء مثل طحالب Nostoc, Anabaena بالإضافة إلى البكتيريا التكافلية مثل بكتيريا العقد الجذرية Rhizobium التى ترتبط بالبقوليات. وفى الحقيقة، فإن جميع النتروجين الذى يستخدمه النبات يأتى من الأمونيا التى تقوم أنواع معينة من البكتيريا بتخليقها من النتروجين الجوى (التثبيت البيولوچى للنتروجين)، فالنبات لا يستطيع على الإطلاق استخدام النتروچين الجوى لبناء الأنسجة والأحماض الأمينية والنمو، بالرغم من أنه يكون ٨٠٪ من الغلاف الجوى، ومن هنا تتضح أهمية استخدام الأسمدة النتروچينية لمساعدة النبات على النمو.

**النيترة (النترجة): Nitrification**

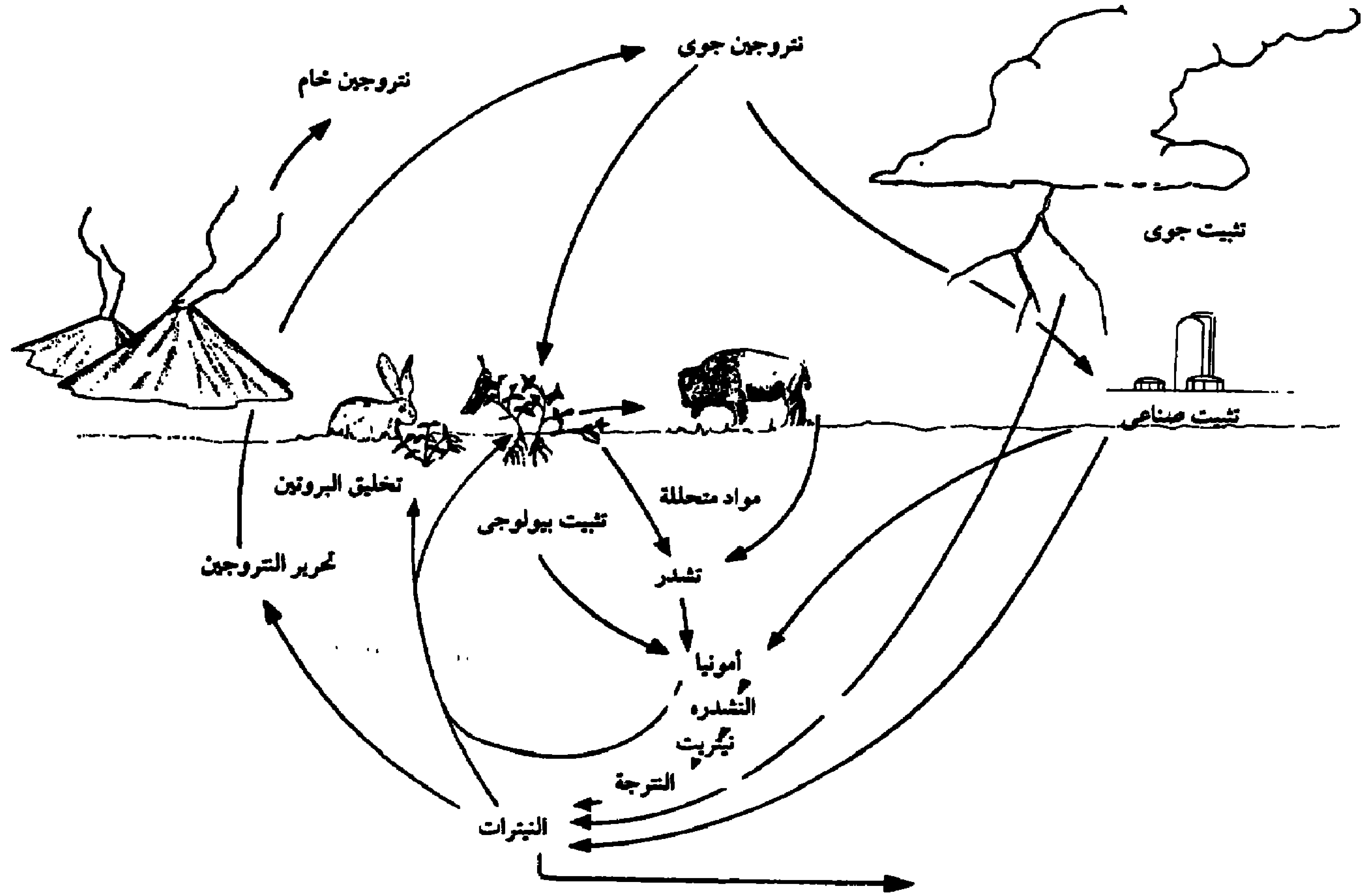
تتم أكسدة الأمونيا بواسطة البكتيريا إلى حامض النيتروز (الذى يكون أملاح النيتريت) ثم إلى حامض النيتريك والنيترات.

من المعروف أن البكتيريا ذاتية التغذية من جنس Nitrosomonas تحصل على الطاقة من خلال أكسدة الأمونيوم إلى نيتريت وهذا التفاعل يعطى ٦٥ كيلو كالورى لكل مول من الأمونيوم. وتحصل البكتيريا من جنس Nitrobacter على الطاقة عن طريق أكسدة النيتريت إلى نيترات. وتعتبر النيترات من أهم مصادر النتروچين المتاحة للنبات؛ لأن أيونات النيترات لا تمتزج مع جزيئات التربة مما يساعد النبات على سهولة امتصاصها. بينما تميل جزيئات الأمونيوم إلى الامتزاج مع جزيئات التربة (Price, 1984) تمتص النباتات أيونات الأمونيوم أو النيترات لاستعمالها فى تخليق الأحماض الأمينية فى عملية البناء الضوئى ثم تتغذى الحيوانات على النباتات وتستمر دورة النتروچين فى اتجاهات مختلفة فى الشبكة الغذائية.

وبعد موت الحيوانات والنباتات تتحلل المواد العضوية النتروچينية مرة أخرى وتدخل الفضلات النتروچينية التى تخرج من أجسام الحيوانات عمليات التحلل.








شكل (١): دورة النتروجين فى النظام البيئى البرى عن (Delwiche, 1970)

**النشدرة: Ammonification**

يتصاعد النتروچين على شكل أمونيا من المواد العضوية المتحللة وتعرف هذه العملية بالنشدرة أو التحول إلى مركبات نشادرية ويتحول هذا النشادر إلى نيترات فى عملية النيترة (الخطوة السابقة).

**تحرير النتروچين: Denitrification**

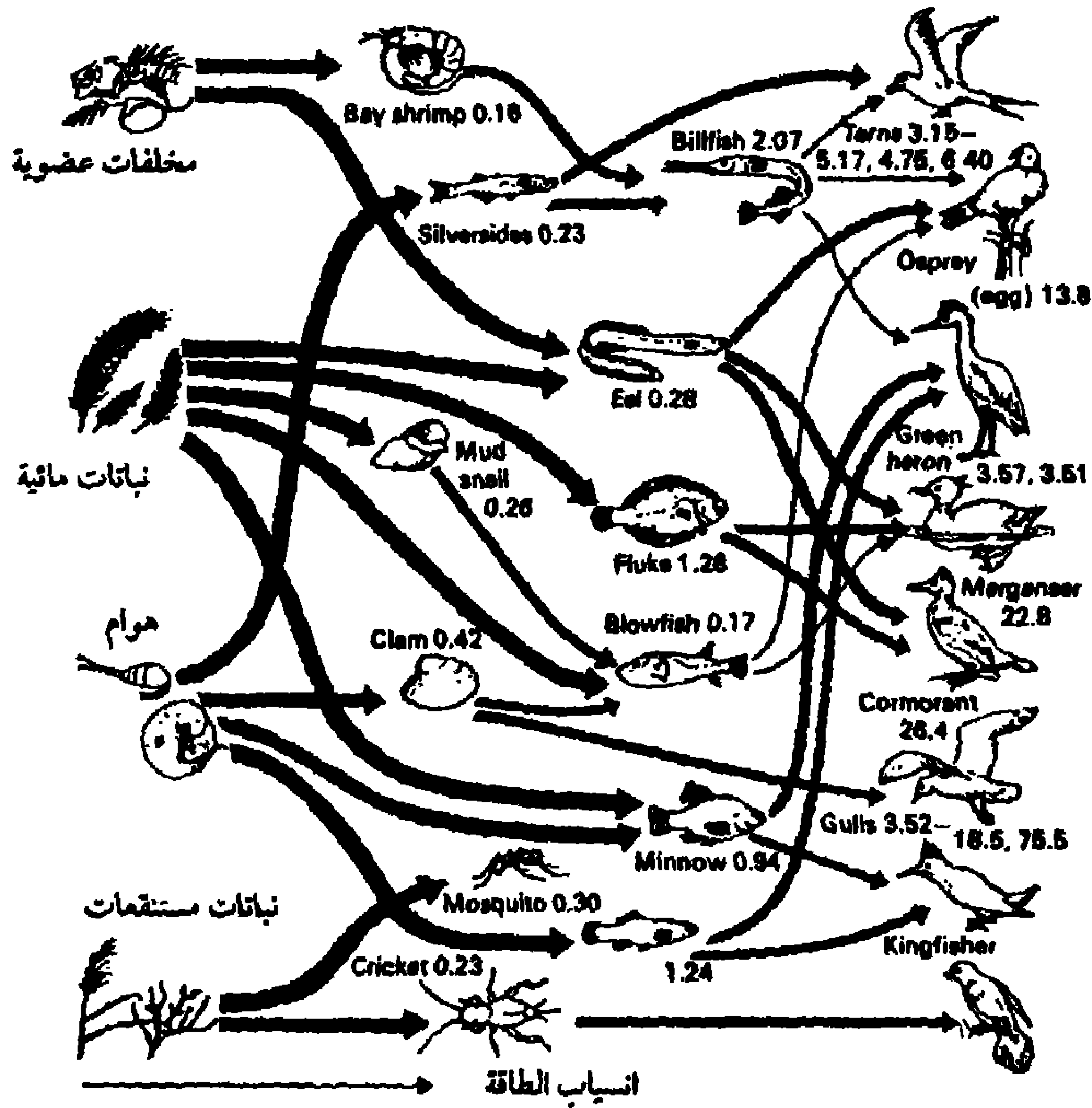
تتكسر مركبات النيترات والنيتريت بواسطة البكتيريا المحللة مثل Peseudomonus denitrificans ويتصاعد غاز النتروچين الخام مرة أخرى.

ويعتبر النشاط البركانى من المصادر الطبيعية التى تضيف غاز النتروچين إلى النظام البيئى. ويمكن أن يفقد النتروچين من النظام البيئى خلال ترسب الجزيئات المحتوية على النتروچين أو تدفق النيترات مع المياه لتصب فى الأنهار أو البحيرات أو حتى البحار المفتوحة. وتجدر الإشارة إلى أن دورة النتروچين فى الطبيعة تتأثر بالمخصبات أو الأسمدة النتروچينية التى تضاف إلى التربة لزيادة معدلات نمو النبات وذكر (Delwiche, 1970) أن التثبيت الصناعى (الأسمدة) يضيف ٣٠ مليون طن مترى سنويًا إلى الغلاف الجوى. ومن ناحية أخرى سوف تظل معدلات التثبيت البيولوچى ثابتة والتى تقدر بحوالى ٤٤ مليون طن مترى فى البيئة الأرضية و١٠ مليون طن مترى فى البيئة المائية والنتيجة هى زيادة الإنتاج الابتدائى الخالص فى النظم الزراعية نتيجة زيادة معدلات نمو النبات وزيادة الإنتاج الثانوى نتيجة لتحسن وزيادة كم الغذاء المقدم للحيوانات المستأنسة ولكن زيادة معدلات تثبيت النتروچين مع بقاء معدلات التحرر Denitrification فى مستوى أقل سوف تؤدى إلى حدوث مشاكل بيئية مثل تلوث الأنظمة البيئية بالإضافة إلى النيترات التى تسبب نمو تجمعات الطحالب فى البحيرات وعلاوة على ذلك فإن زيادة تركيز النيترات تؤدى إلى تلوث مياه الشرب حيث تكون المياه مميتة للأطفال والأغنام إذا تجاوزت نسبة النيترات ٣٨ مج/لتر.

تتأثر آهلات العشبيات بدورة النتروچين فى النظام البيئى حيث إن النتروچين يعتبر من العوامل التى تحدد أو العوامل المحددة للمستوى الغذائى الثانى حيث إن عمليات الأيض فى اللافقاريات والحشرات تؤدى إلى تركيز النتروچين فى أنسجة الحشرة، وقد وجد أن وزن النتروچين لكل وحدة أنسجة من الحشرة يصل إلى

ضعفى أو أربعة أضعاف وزن النتروچين لكـل وحدة أنسجة من النبات ومن ناحية أخرى هنـاك العديد من الشـواهد التى تدل على أن نقص النتروچين من الـعوامل المنظمة للآهلات المغتذية على الأعشاب (White, 1978).

ويمكن أن تتسـرب المبيدات الحـشرية التى تذوب فى الماء من الحقـول حتى تصل إلى الأنظمة البيئية المائية حيث تحتـفظ الكائنات الصغيرة ببعض المركبات مثل مبيد د.د.ت DDT فى الأنسجة الدهنـية. وعندما تتغذى الكائنات الـكبيرة على هذه الأنواع تحتفظ الأنواع الكبيرة بكميات أكبـر من المبيد فى أجسامها ويزداد تركز هذه المادة السامة مع المستويات الغذائيـة فى الشبكة الغذائية (شكل ٢) حيث تصل إلى أعلى درجاته فى المفترسات التى توجد فى قمة الشبكة الغذائية.




(شكل ٢): حركة مبيد D.D.T فى جزء من الشبكة الغذائية لتوضيح حركة المبيد. ويلاحظ أن انسياب الطاقة وحركة المبيد تسير فى اتجاه الأسهم ويوضح الشكل تزايد تركيز المبيد (جزء لكل مليون - PPM) فى المستويات الغذائية الأعلى حيث يرتفع فى السمك عن العوالق والنباتات المائية ويرتفع فى الطيور المفترسة عن الأسماك (Woodwell, 1967).

### ب- دورة الفوسفور: Phosphorus Cycle

يمكن دراسة الدورات البيوچيـوكيميائية باستخدام المواد المـشعة وعلى سبيل المثال، تتبع (Whittaker, 1961) دورة الفوسـفور فى النظام البـيئى المائى بإضـافة حامض الفسفوريك المكون بالنظير المشع$^{32}P$ وأوضحت هذه الدراسة النتائج الآتية:

١- تم استـعمال النـظير المشع$^{32}P$ بواسطة الهوام البـحرية Phytophlanktons بسرعة (شكل٣- أ).

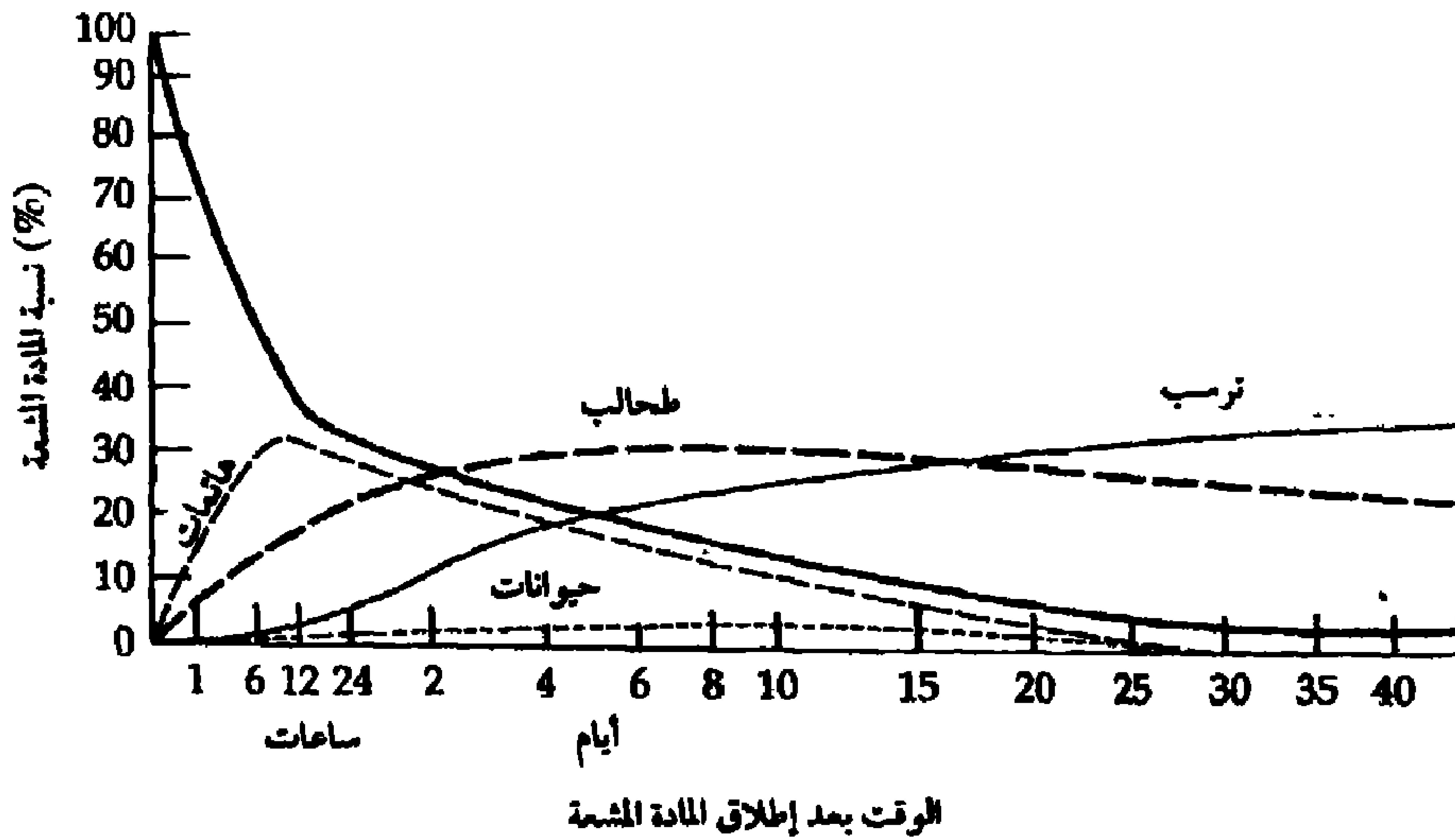
٢- الطحالب الخيطية الموجودة على الحواف وفى القاع امتصت النظير المشع ببطء.

٣- تغذت القشريات على الطحالب ومن ثم انتقل إليها الفوسفور.

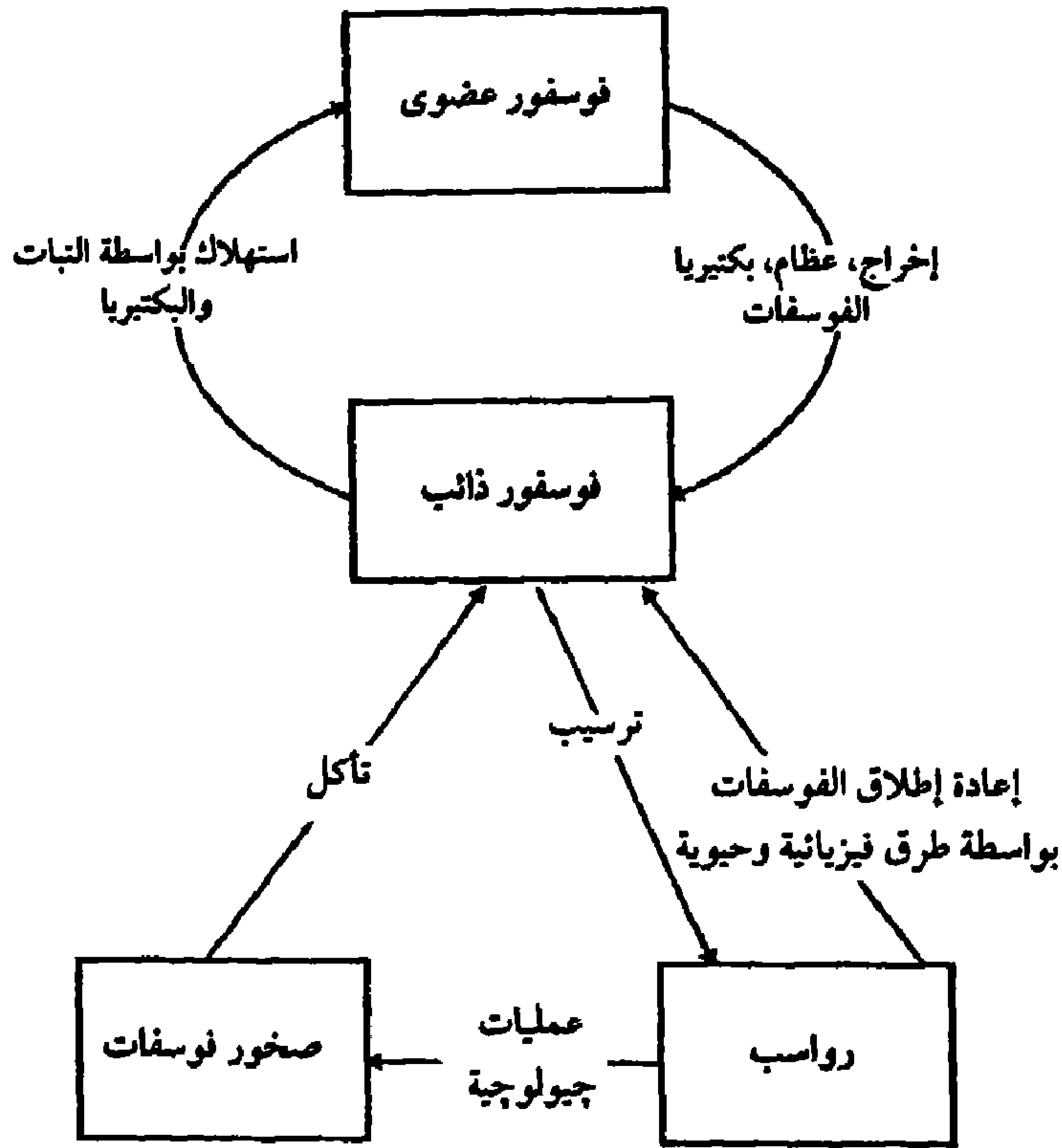
٤- بدأ الفوسفور المشع فى التراكم بعـد موت الأنواع التى تغذت عليه وترسب فى القاع فى صورة أقل نشاطًا.

وتحدث هذه الـدورة فى الطبيـعة حيـث يتراكم الفـوسفور والمـواد الأخرى وتترسب فى القـاع فى صورة غيـر صالحة للاسـتعمـال، وهذا هو السبب فى أن الفوسفور من العوامل التى تحدد النظام البيئى فى البحيرات.

وتعتـبر دورة الفوسفـور من الدورات الرسوبية، وللفـوسفور أهمـية فى نقل الطاقة داخل خلية الكائن الحى، ويوضح شكل (٣-ب) دورة الفوسفور فى الطبيعة.




(شكل ٣- أ):حركة الفوسفور المشع فى نظام بيئى مائى مصغر (Whittaker,1961) .




(شكل ٣- ب): شكل توضيحى لدورة الفوسفور ويلاحظ انسياب الفوسفور من وإلى الصخور. ( عن Odum, 1997).

**جـ - دورة الماء**

**تجمعات المياه والأمطار: Water Catchment Areas**

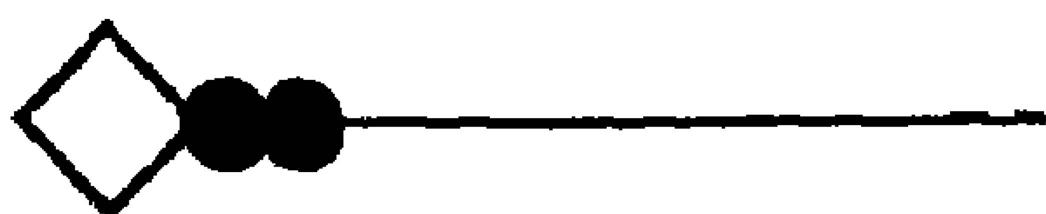
يمثل الماء أكثر احتياجات الكائن الحى لإتمام عمليات الأيض. ويسبب الظمأ موت الإنسان فى وقت أسرع من الجـوع. يكون الماء حوالى ٦٠٪ من وزن الجسم ويحتاج الإنسان إلى حوالى ٢,٢٥ لتـر من الماء يوميا، ويجب أن تضاف إلى هذه الكمية المياه المستخدمة فى الطهى والتخلص من الفضلات والماء المهدر.

فى الدول النامية وعلى سـبيل المثال فى كراتشى (Karachi) يبلغ استهلاك الفرد ٩٠ لترا يوميا، أما فى الدول الصناعية فيرتفع هذا ليصل إلى ٢٦٣ لترا يوميا فى لندن و٦٣٥ لترا يوميا فى الولايات المتحدة.

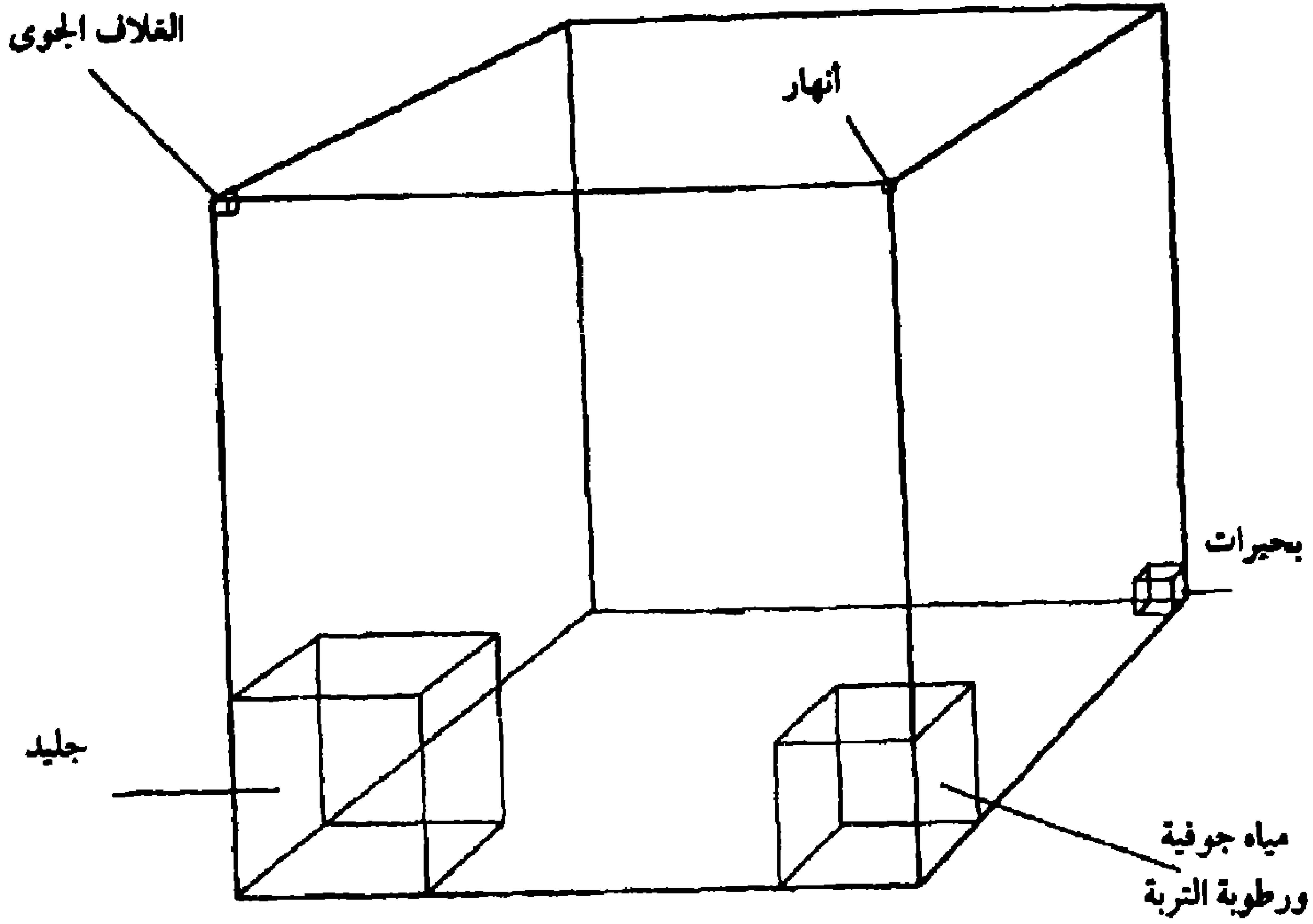
والصناعة من أكثـر الأنشطة البشرية التى تستهلك الماء، حـيث تحتاج بعض الصناعـات إلى اسـتهـلاك ٢٠,٠٠٠ لتـر من الماء لإنتـاج طن واحـد من المنتج النهائى. وهذه الـكمية ترتفع فى صناعـات البترول والحـديد والصلب. كمـا تعد الزراعة من أكثر الأنشطة استهلاكا للمياه، وعلى سبيل المثال يتطلب إنتاج ٤٥ كيلو جراما من القمح الجاف ٢٢٧ لترا من الماء وإنتـاج نفس الكمية من الأرز يحتاج ما بين ٧٥٧-٩٤٦ لترا من الماء، وإنتـاج لتر واحد من الحـليب إلى ٤,٠٠٠ لتر من الماء (Simmons, 1981). ويستهلك الإنتاج الحيوانى أيضـا كميات كبيرة من الماء، فالبـقرة الحلوب تحـتاج إلى ٤٥ كيلو جـراما من الماء لإنتـاج ١٢ كيلو جـراما من الحليب (بعكس الأغنام الـتى تحتـاج فقط إلى حـوالى ٥ كـجم يوميـا فى المراعى الجافـة، وقد لا تحـتاج إلى الماء فى المراعى الخـضراء). ويسـتخدم الماء أيـضًا فى النقل، وعلى سبيل المثال نقل أكثر من ٦٠ مليون طن مترى من البضائع فى طريق سان لورانس البـحرى (St Lawrence Seaway) عام ١٩٦٠، وحـمل نهر الراين (Rhine) فى أوروبا ٢٣٠,٦٠ مليـون طن عام ١٩٦٥، وهـذا الاستـخدام يبـدو ظاهريا غير مـستهلك للمياه، ولكن من الناحـية الواقعية تؤثر حركـة السفن تأثيرا ضارا على المياه، حـيث يؤدى التلوث الناشئ عن حركة السفن إلى عدم اسـتخدام الماء فى أغراض أخرى.

أما استغلال الماء فى توليـد القوى الكهربية فيمكن اعتبـاره الوسيلة الوحيدة لاستعمال الماء بدون استهلاكه، ويعطى الماء ٦٨٪ من إجمالى الطاقة الكهربائية فى بيرو وفى كـولومبيـا تبلغ هذه النسبة ٦٣٪ وترتفع فـى كندا لتصل إلى ٨١٪ وإلى ٩٩,٨٪ فى النرويج.

يوجـد الماء فى صـور مختلفـة فى الطبيـعة ويمثل الماء المالـح فى المحيطات ٩٧٪ وتبلغ نسبة الماء العـذب ٣٪ فقط من المياه الكلية، ٧٥٪ من هذه الكمـية ماء غير متـحرك (جليد). وتمثل المياه الجوفيـة نسبة عالية من المياه العـذبة، أما الأنهار والجداول والبحيرات فلا تحـتوى إلا على ١,٥٪ من الماء العذب، ويحتوى الغلاف الجوى على ٠,١٦٪ مـن الماء العذب (Van Der Leeden, 1975) (شكل ٤) وإذا








(شكل ٤): مياه العالم يمثل المكعب الكبير جميع كميات الماء فى العالم، والمكعبات الصغيرة تمثل كميات الأنواع المختلفة من الماء، ويمثل بقية المكعب الكبير مياه المحيطات والبحيرات المالحة، عن (Van Hylckama,1975).

ما افترضنا أن الأمطار التى تسقط على العالم فى أوقات متفرقة سوف تسقط فى وقت واحد فسوف تكون كمية الأمطار ٢,٥ سم فى جميع أنحاء الكرة الأرضية، وسوف يستمر المطر لمدة ١٠ أيام متصلة (Barry, 1967). وهذه الفترة (عشرة أيام) هى متوسط الفترة التى تبقى فيها جزيئات الماء معلقة فى الغلاف الجوى. وهذه الصورة تشير إلى التحول السريع فى دورة البحر وحركة المياه وسقوط الأمطار. وتعرف حركة المياه فى الغلاف الجوى (Atmosphere) والغلاف الحيوى (Biosphere) والتربة (Lithosphere) بالدورة الهيدرولوجية أو دورة المياه فى الطبيعة (Hydrological Cycle) (شكل ٥). ويقضى الماء فترة تتراوح من ١٠-١٠٠ يوما على اليابسة إذا لم يدخل فى دورة المياه الجوفية، حيث يمكن أن يستمر فترة أطول. وعلى سبيل المثال توجد مياه فى بحيرة أرتيسيان بأستراليا منذ حوالى ٢٠,٠٠٠ عام (Barry, 1969).





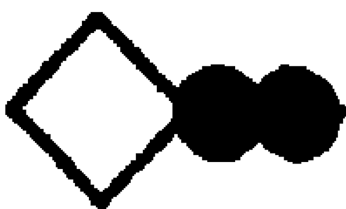
**بذل (استهلاك) مصادر المياه Tapping into The Water Supply:**

يتدخل الإنسان لتحويل الماء من دورته الطبيعية إذا كان لهذا التدخل عائد اقتصادى، وأكثر حالات الماء خضوعًا للتحول أو استغلال الإنسان هى حالة ماء الأمطار الجارى فوق سطح الأرض (Runoff) فى شكل أنهار، أو الحالات التى يختزن فيها الماء، ولم تثبت حتى الآن جدوى عملية الأمطار الصناعية.

**الماء الجارى Runoff**

المطر هو المصدر الأول للمياه العذبة، وتتأثر تجمعات الماء فوق سطح الأرض بالعديد من العوامل: طبيعة الأرض والعمق ودرجة ميل أو انحدار القشرة الأرضية فى منطقة تجمع المياه والكساء النباتى. وعموما يزداد فقد الماء مع الزيادة فى كثافة الكساء النباتى نتيجة النتح. وتقلل عملية إزالة الأشجار تماما من تجمعات الأمطار وتسبب زيادة كمية الطمى الذى يلوث الماء؛ ولذا يجب أن يكون هناك توازن بين كمية الأشجار فى تجمعات الأمطار ونقاء الماء وكميته، كما أن لوجود حزام من الأشجار أهمية حيث يعمل على حجز الطمى ومنعه من الترسب فى متجمعات الأمطار.

فى جنوب كاليفورنيا انخفض معدل انسياب الماء ليصبح ٤٩,٣ × ١٠م$^{٣}$ يوميا بدلا من ٨٦,٣ × ١٠$^{٣}$م$^{٣}$ يوميا بعد إزالة الكساء النباتى من على ضفاف حوض التجمع (catchment basin) للمجرى المائى. وأفضل المياه التى يمكن استغلالها والاستفادة منها هى مياه الأنهار والبحيرات، إذ تختزن بحيرات أفريقيا ٣٠٪ من الماء العذب السائل فوق سطح الأرض، وتختزن بحيرات شمال أمريكا ٢٥٪ من الماء العذب، وتختزن بحيرة بايكال فى الاتحاد السوفيتى (سابقا) (Lake Baikal, Former USSR) ١٨٪ من الماء العذب، أما النسبة الباقية من الماء العذب فوق سطح التربة (هى نسبة ٢٧٪) فتختزن فى البحيرات الصغيرة والأنهار. وتحتوى الأنهار على ١٢٠٠ كيلو متر مكعب من الماء العذب على مستوى العالم بالمقارنة إلى البحيرات التى تحتوى ١٢٥,٠٠٠ كيلو متر مكعب من الماء العذب فى العالم. وأكثر من دول العالم استخداما لمياه الأنهار هى الصين تليها الهند والاتحاد السوفيتى (سابقا) ثم باكستان يليها باقى دول آسيا (Stiliing, 1992).





مياه غير مداره
الغلاف الجوى
(مخزن لبخار الماء)

بخر

تكاثف البخار
مطر ورذاذ
صقيع
ندى وضباب
ندى وبخار
متجمد

بخر مباشر

إنسياب من
سوق الاشجار

إحتجاز ماء
حول
النباتات

بخر الماء المتخلل
حول النباتات الصغير

منابع الانهار

احتباس فوق
سطح التربة

مياه جارية
سطحية

تخزين رطوبة
التربة

بخر من سطح التربة

ارتشاح
(تسرب)

تسرب من الانهار
والمجارى المائية
إلى الصخور

تخزين فى
بحيرات
وانهار
ومجارى
مائية

نتح من النبات

انتقال ومن
طبقات
صخرية
مائية

تجمع فى
قنوات

تدفق

بخر من البحيرات والانهار
والمجارى المائية

تجمع فى
قناوات

نتح من النبات النامى على
ضفاف الجداول والانهار

فقد من الصخور
المائية إلى البحار

تدفق مباشر من الصخور
المائية إلى الانهار والمجارى
المائية

بخر من البحار والمحيطات

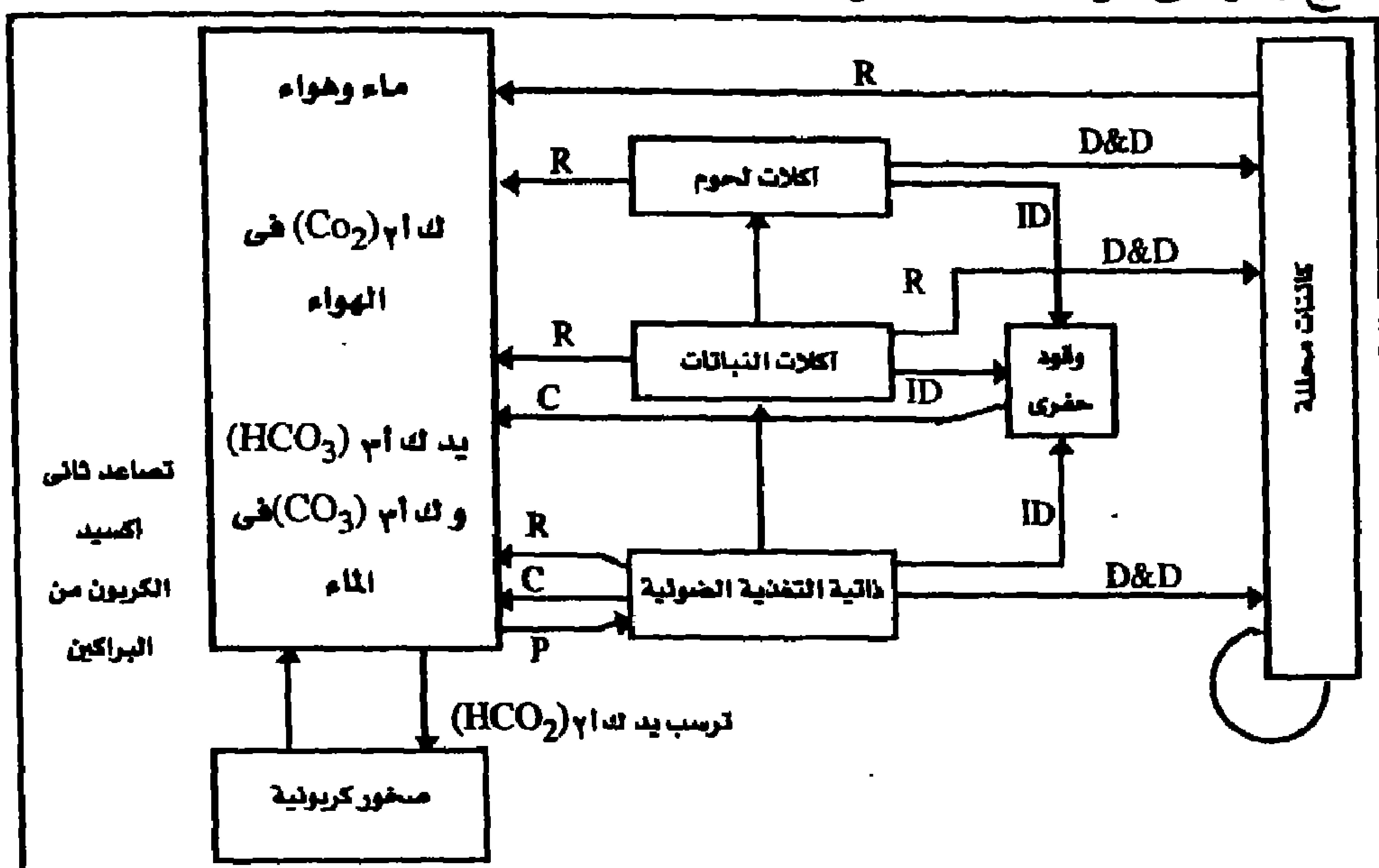
تحليه مياه البحر
(تكلفة عالية)
البحار والمحيطات
تخزين مياه

ماء يمكن سحبه
من ابار

(شكل ٥): دورة المياه فى الطبيعة (عن Barry, 1969)

## د - دورة الكربون Carbon Cycle :

تحصل الكائنات ذاتية التـغذية الضوئية (النبـاتات الخضراء) على الكربون فى صورته الموجود عليـها فى الغلاف الجوى (ثانى أكسـيد الكربون). وهذا الغاز هو ناتج إخراجى من عمليات تنفس الكائنات الحية (شكل ٦).




(شكل ٦): دورة الكربون:

١ - تسـتهلك الكائنات ذاتيـة التـغذية الضـوئية (النبـاتات)(Photoautotroph) ثانى أكسـيد الكربون من الجو (أ).

٢- تـتغذى الأنواع العـاشبـة (Herbivores) وآكلات اللحـوم - اللواحم - (Carnivores) على المواد العضوية المحتوية على الكربون (١).

٣- يتصاعد ثانى أكسيد الكربون إلى الغلاف الجوى نتيجة التنفس (R).

٤- يتصـاعد ثانى أكسـيد الكربون نتـيجـة احتراق النبـاتات والوقود الحـفرى (Fossil Fuels) (C).

٥- تصل المركبات العضوية المحتوية على الكربون إلى الكائنات المحللة (Decomposers) نتيجة الموت والتحلل (Death and Decay) (D + D).

٦- تتحـول المركبات العضـوية إلى وقود حفرى نـتيجة عـدم التحلل الكامل (Incomplete Decay) (I.D).

* يلاحظ أن الكـربون يوجـد فى الـهـواء على شكـل غـاز $(CO_2)$. وفى الماء على صـورة أيونات$(HCO_3^- \ CO_3^{2-})$. عن (Chapman and Reiss 1995).

من نفس الشكل (٦) يمكن ملاحظة أن الوقود الحفرى (Fossil Fuels)، وهو الزيت والفحم والغاز الطبيعى، والطريقة الوحيدة لإرجاع الوقود الحفرى إلى دورة الكربون هى حرق ذلك الوقود (وهذا ما يحدث بالفعل مع استخدام البترول والفحم كمصادر لإنتاج الطاقة فى المصانع وحركات السيارات. . . . إلخ).

يوضح الشكل أهمية البيئة الفيزيائية فى دورة الكربون، حيث إن ثانى أكسيد الكربون ($Co_2$) وأيونات الهدروكربونات ($HCO_3^-$) توجد فى الماء.

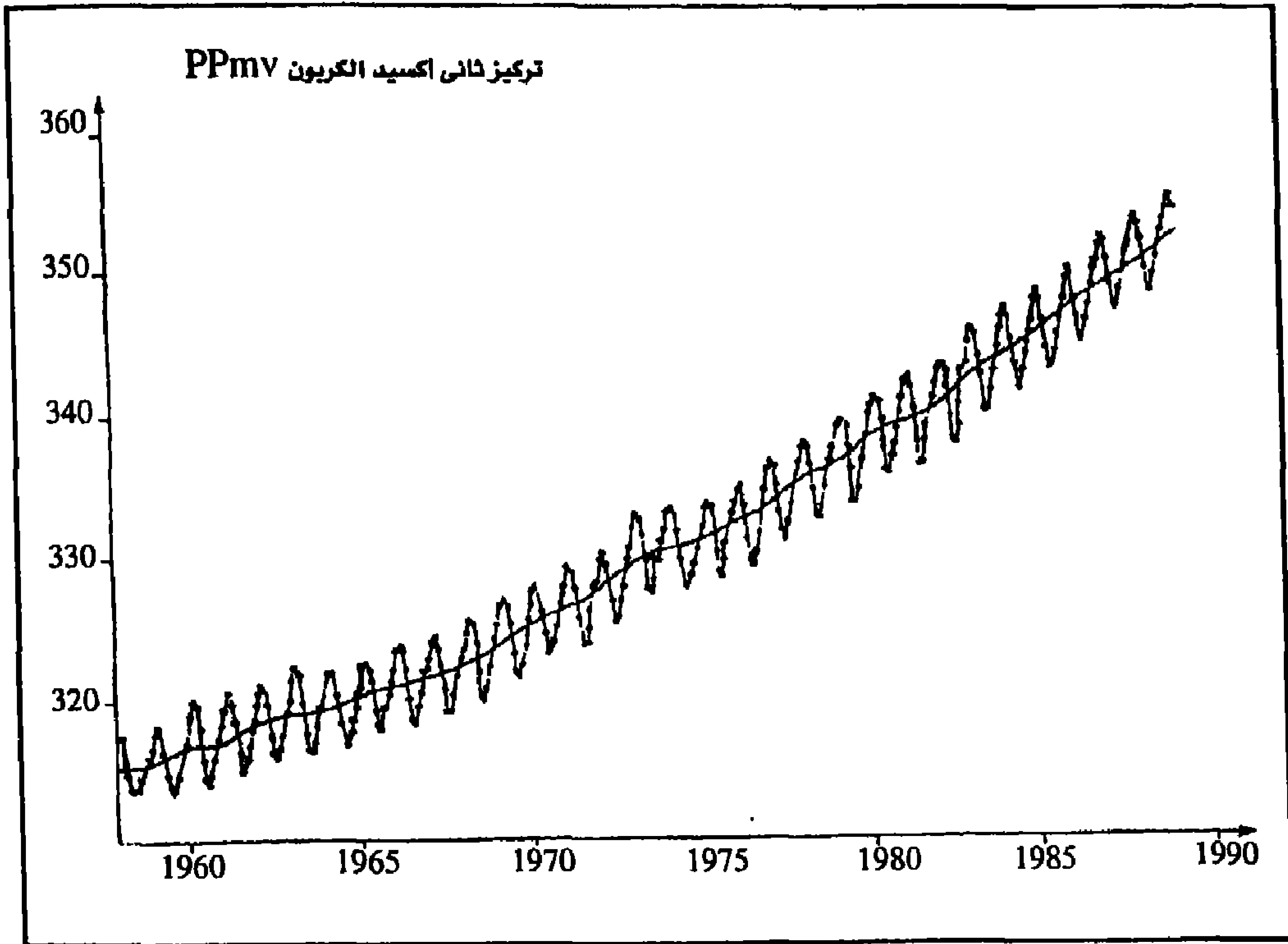
**هـ- تأثير الصوبة النباتية The Greenhouse Effect:**

لو لم يكن كوكب الأرض محاطا بالغلاف الجوى لكان متوسط درجة الحرارة على هذا الكوكب (- ١٨ْم)، فمتوسط درجة الحرارة على سطح القمر (-١٥ْم) نظراً لعدم وجود غاز ثانى أكسيد الكربون فى غلافه الجوى. ويبلغ متوسط درجة حرارة الأرض حوالى (١٥ْم). يؤدى الغلاف الجوى المحيط بالكرة الأرضية وظيفة الصوبة النباتية (Greenhouse) التى تحبس الحرارة ويستطيع الإنسان الحياة على سطح الأرض نظراً لوجود تأثير الصوبة أو حبس الحرارة الناتج عن وجود الغلاف الجوى، ولكن زيادة تركيز الغازات يمكن أن يؤدى إلى ارتفاع فى درجة حرارة الكرة الأرضية Global warmth.

إن غاز ثانى أكسيد الكربون وبخار الماء فى الغلاف الجوى هما المسئولان عن حفظ درجة حرارة الأرض، ولكن أنشطة الإنسان مثل الأنشطة الصناعية وغيرها تؤدى إلى تصاعد كميات كبيرة من غازات ثانى أكسيد الكربون والميثان وأكاسيد النيتروز وغاز الفيريون وغيرها إلى الغلاف الجوى، وأهم هذه الغازات من حيث التأثير على درجة حرارة الأرض هو غاز ثانى أكسيد الكربون.

تتزايد كميات غاز ثانى أكسيد الكربون المتصاعد إلى الغلاف الجوى بمعدلات تصل إلى ٣٠٠٠ مليون طن سنويًا (Bolin, 1983)، وتأتى هذه الكمية من

مصـادر عديدة أهمـها احـتراق الوقـود الحفـرى والأشجـار وخاصة فى الـغابات الاستوائية المطيـرة. بالإضافة إلى عملية إزالة الغابات التـى أدت إلى نقص كميات النبات الـتى تستخـدم ثانى أكسـيد الكربون الجـوى فى عمليات البنـاء الضوئى. ويوضح شكل (٧) ارتفاع نسبة تركيز غـاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى فى جـزيرة هاواى بين أعـوام ١٩٦٠-١٩٩٠. والـتـذبذب الذى يوجـد فى هذا الشكل ينشأ نتيجة ارتفاع مـعدلات البناء الضوئى سنويا أثناء ازدهار نباتات غابات المناطق المعتدلة فى فصل الصيف، ولكن الشكل العـام يوضح تزايد النسبة تدريجيا من حوالى ٣٢٠ جزءا فى المليون فى منتصف الستينيات إلى حوالى ٣٥٠ جزءا فى المليون مع بداية التسعينيات نتيجة الأنشطة البشرية، وبخاصة الأنشطة الصناعية فى النصف الشمالى من الكرة الأرضية.




(شكل ٧): تركيز ثانى أكسيد الكربون (متوسط شهرى) فى الغلاف الجوى فى محطة إرصاد مونـالوى فى جزيرة هاواى بالولايات المتـحدة بين عـامى ١٩٦٠ - ١٩٩٠. عن (Chapman and Riess, 1995).





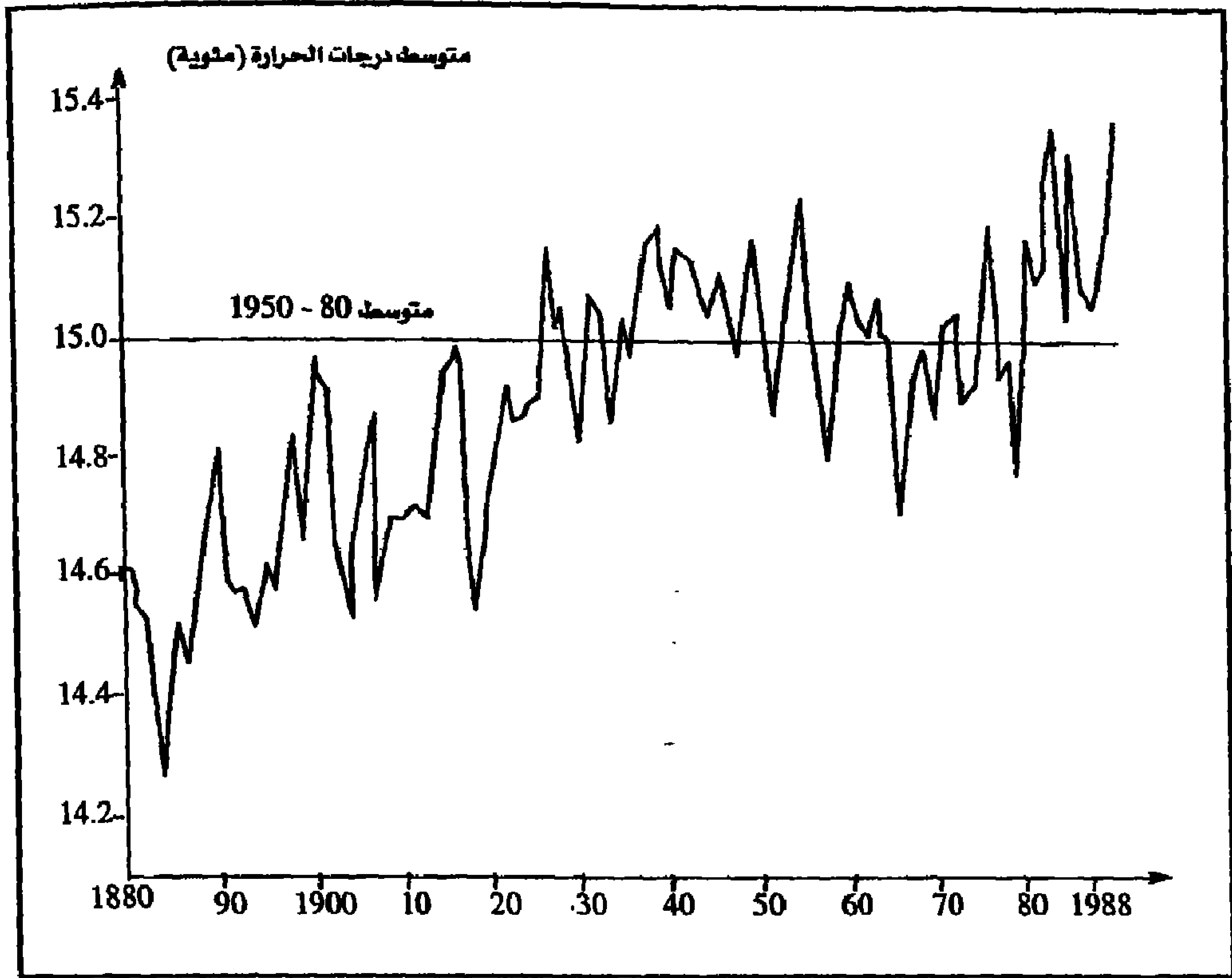
وكما ذكرنا سابقا - يمتص غاز ثانى أكسيد الكربون جزءا من الحرارة المرتدة على الأرض وتختزن هذه الحرارة مسببا ما يعرف بتأثير الصوبة النباتية، ولكن ماذا يحدث لو ازداد تركيز هذا الغاز وارتفعت معه درجة حرارة الصوبة التى نعيش فيها؟ هل سوف ترتفع درجة حرارة الأرض لدرجة انصهار الجليد فى المناطق القطبية؟ وتتعرض المدن المنخفضة والمناطق الساحلية إلى طوفان يقتل مئات الملايين من البشر وأعداد لا يمكن تقديرها من الحيوان والنبات. يوضح شكل (٨) أن متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية ارتفع بالفعل بمقدار (١ْم) خلال المائة سنة الأخيرة، ومن الصعب التنبؤ بما قد يحدث لدرجة حرارة الأرض على مدى الأربعين أو الخمسين عاما القادمة، ولكن بعض العلماء (Pain, 1988, Peel, 1989) يتوقع ارتفاع درجة حرارة الأرض بين ٢-٨ْم على مدى القرن الحادى والعشرين.

يؤدى ارتفاع درجة حرارة الأرض إلى ارتفاع درجة حرارة المياه السطحية فى المحيطات عند المنطقة الاستوائية مما يسبب زيادة معدلات البخر، ويؤدى ذلك إلى زيادة سرعة حركة الهواء وتصبح الرياح أقوى مما هى عليه، وتحمل الرياح الهواء المحمل بالرطوبة إلى المناطق القطبية. ونتيجة ذلك هو تلقى المنطقة تحت الاستوائية (Subtropical Latitudes) بين خطوط عرض ٥-٣٥ْ شمالاً أمطارا أقل من المعدلات العادية مما يسبب الجفاف، ويذكر (Sear, 1987) أن المناطق بين خطى عرض ٣٥-٧٥ْ شمالاً سوف تحدث فيها الفيضانات أكثر من المعتاد، وقد يفسر هذا ما حدث من طقس غير معتاد خلال العشرين عاما الأخيرة. وسوف نناقش فى هذا الفصل مصادر وعناصر ارتفاع درجة حرارة الأرض.

إن ارتفاع درجة حرارة الأرض عملية بطيئة لا يمكن الإحساس بها على مدى عشرات السنين، كما أنها غير واضحة حيث تكون نتيجة للتغيرات الطبيعية التى تحدث دوريا كل عام، وقد أدى ذلك إلى صعوبة الحكومات باتخاذ إجراءات سريعة للإقلال من معدلات غاز ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى.







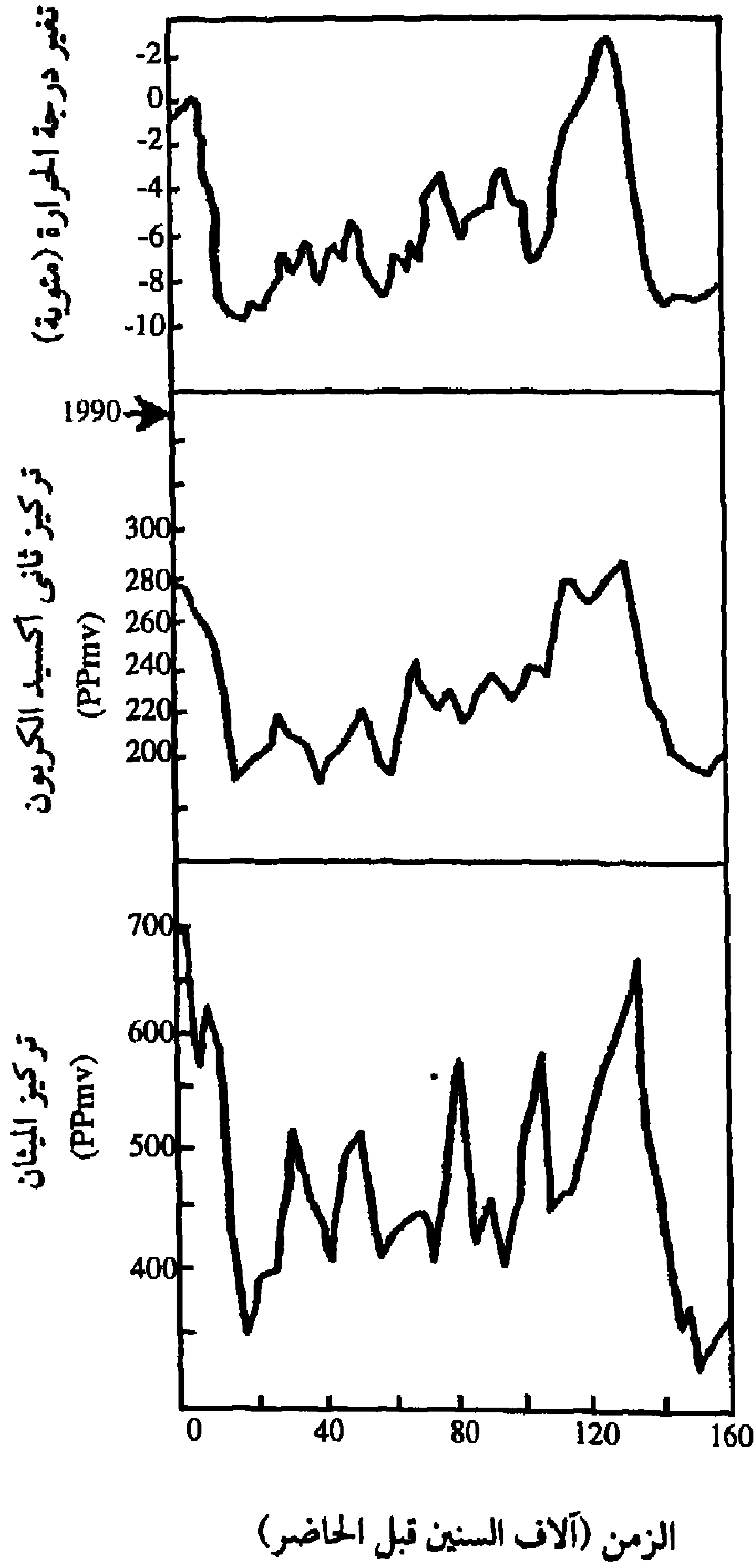

(شكل ٨): متوسط درجة حرارة الكرة الأرضية بين أعوام ١٨٨٠ – ١٩٨٨. عن (Gribbin, 1988).

## ٢- مصادر وعناصر أخرى تؤدى إلى ارتفاع درجة حراره الأرض:

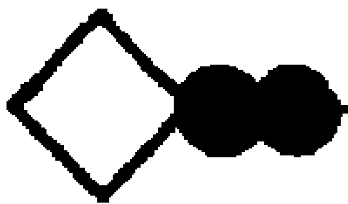
ذكر سابقًا أن غازات الغلاف الجوى التى يؤدى دور الصوبة التى تحبس الحرارة وتمكن الإنسان من الحياة، وقد ناقشنا تزايد معدلات تصاعد غاز ثانى أكسيد الكربون نتيجة الأنشطة البشرية وتأثير ذلك على أرتفاع درجة حرارة الكرة الأرضية عن معدلاتها الطبيعية، وبالرغم من أن أكثر الغازات تأثيراً فى مناخ الكرة الأرضية هو غاز ثانى أكسيد الكربون إلا أن غاز الميثان ($CH_4$) شكل (٩) وأكسيد النيتروز ($N_2O$) وغاز الأوزون ($O_3$) والكلوروفلوروكربون (CFCs) تلعب دوراً فى تغير مناخ الكرة الأرضية.



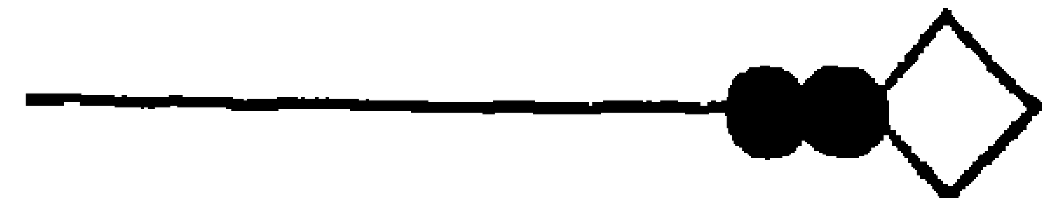





شكل (٩): تركيز غاز الميثان وثانى أكسيد الكربون ودرجة حرارة الهواء فى الكرة الأرضية خلال المائة وستين ألف عام الأخيرة (عن IPCC, 1990 ).







### أ- الميثان Methane:

غاز الميثان يلي غاز ثاني أكسيـد الكربون من حيث الأهمية في ارتفاع درجة حرارة الكرة الأرضـية. وحياة الميـثان قصيـرة، وبالرغم من أن تركيزه لا يتـجاوز ١/٢٪ من تركيز غاز ثاني أكسيد الكربون في الغلاف الجوي إلا أن جزيئات الميثان لديها القدرة على امتصاص الأشعة تحت الحمراء المرتدة عن سطح الأرض بما يعادل عشرين ضعفًا أكثر مما يمتص غاز ثاني أكسيد الكربون. ويتصاعد غاز الميثان بشكل طبيعي وأيضًـا نتيجة الأنشطة البـشرية، ولكن الأنشطة البشريـة تؤدي إلى تصاعد ٦٠-٨٠٪ من كم الميـثـان المـوجـود بالغـلاف الجـوى (IPCC, 1995). وتؤكـد الدراسات أن نسـبة غاز الميثـان تضاعفت في الغـلاف الجوى منذ الثورة الصناعـية ويعزى ذلك إلى اسـتخـدام الوقود الحفـرى (البترول والفـحم والغاز الطبـيعى)، وزراعة الأرز وطرق التخلص من المخلفات وغيـرها من الأنشطة البشرية. والجدير بالذكر أن معدلات ارتفاع نسبة غـاز الميثان في الغلاف الجوى تتزايد سنويا بمعدل ٨,٠٪ وعموما فإن التركيز الحالي لغاز الميثان وصل إلى ١,٧ (ppmv - جزء في المليون) (Rosenzweig & Hillel, 1998).

### ب- أكسيد النيتروز Nitrous Oxide:

مثل غاز الميثان، يمتاز أكسيد النيترون بقدره أكبر على امتصاص الأشعة تحت الحمراء عن غاز ثاني أكسيد الكربون. والتركـيز الحالي لأكسيد النيتروز يبلغ 0.31) ppmV)، أي أنه يرتفع بنسبة حوالي ١٠٪ عن نسبته في الغلاف الجوى قبل الثورة الصناعية ومعـدل الزيادة السنوية لهذا الغاز تبلغ حوالي % 0.25 (IPCC, 1995). ويتصاعد هذا الغاز من عمليات الأيض من الكائنات الدقيقة في التربة (راجع دورة النتروجين)، ومن الأنشطة الـبشرية التي تسبب ارتفـاع نسبة أكـسيد النيتـروز مثل إنتاج حمض الأديبك (adipic acid) الذي يستـخدم في صناعة النايلون بالإضـافة إلى صناعة المخصبات والأسمدة الزراعية وأيضًا احتراق الوقود الحفرى.



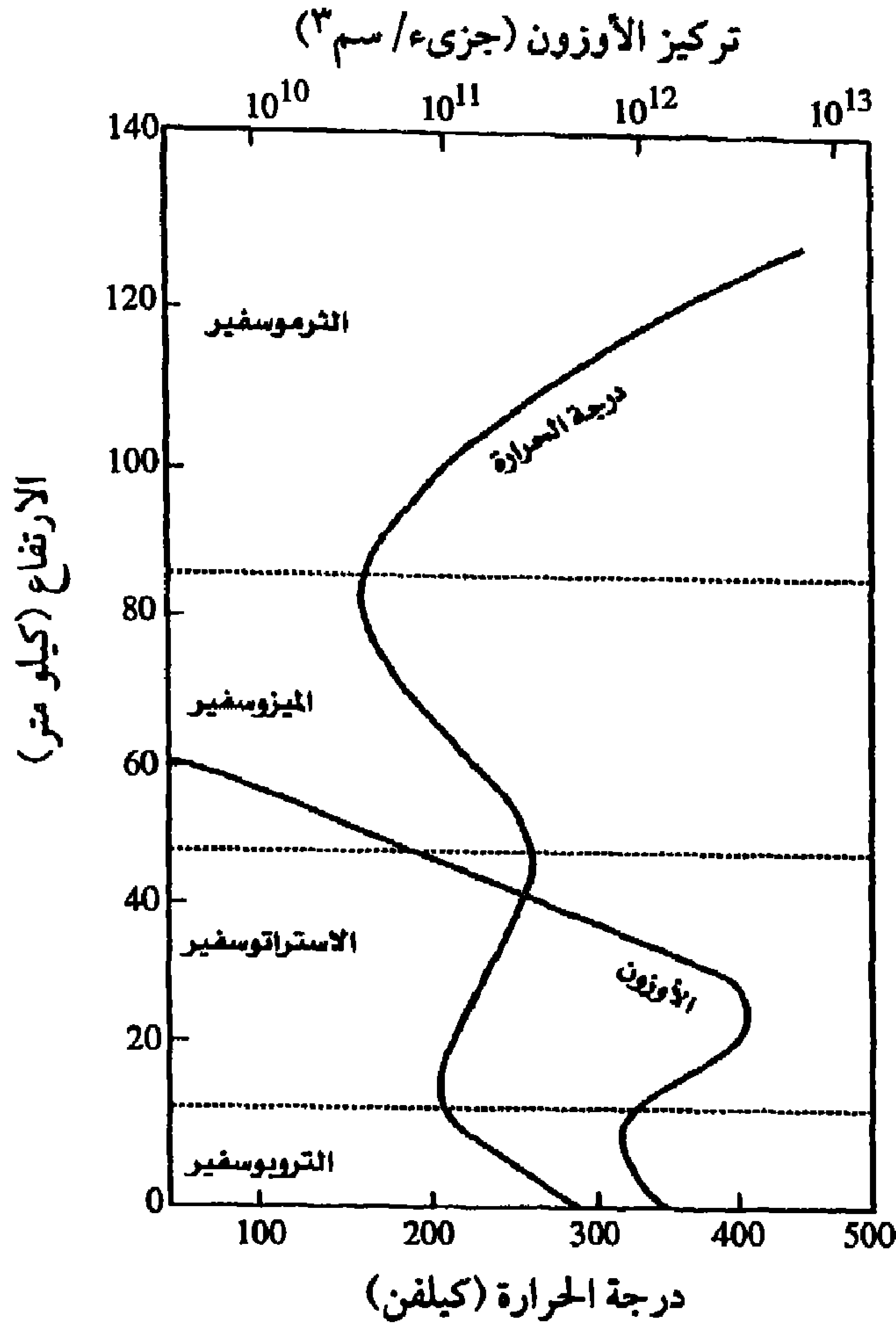


### ج- غاز الأوزون Ozone:

نتحدث هنا عن غاز الأوزون فى طبقات الهواء القريبية من سطح الأرض. إن غاز الأوزون أخطر من مجرد كونه أحد غازات الصوبة التى تسبب التغيرات المناخية فى الكرة الأرضية، حيث إنه يمتص الأشعة ذات الأطوال الموجية الطويلة على سطح الكرة الأرضية Terrestrial Long Wave Radiations ويوجد الأوزون بشكل طبيعى فى طبقة الاستراتوسفير وهى التى تلى طبقة التروبوسفير (التروبوسفير هو أول طبقات الغلاف الجوى حيث يعيش الإنسان والكائنات الحية ويبلغ سمك الطبقة حوالى ١٠كم وهى موضوع الحديث هنا). ويوجد فقط ١٥٪ من الأوزون فى طبقة التروبوسفير (شكل ١٠).

**ومن المعروف أن الأوزون فى طبقة الاستراتوسفير يحمى الأرض من الأشعة فوق البنفسجية التى تسبب سرطان الجلد والطفرات التى تسبب تشوهات الأجنة. ولكن كما ذكرنا فإن الأوزون فى طبقة التروبوسفير يمتص الأشعة ذات الأطوال الموجية العالية مسببًا الارتفاع فى درجة حرارة الكرة الأرضية.**

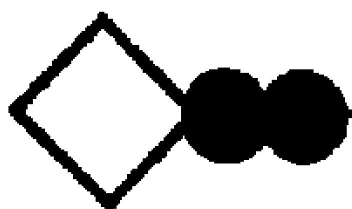
**وقد أظهرت الدراسات أن تركيز الأوزون انخفض بحوالى ٩٠٪ فوق انتراكتكا (Antarctica) مسببا ما يعرف بثقب الأوزون (IPCC, 1992)، وقد أرجع بعض العلماء ذلك إلى كثرة استخدام الكلوروفلوروكربونات.**




شكل (١٠): توزيع الأوزون ودرجات الحرارة فى طبقات الغلاف الجوى عن (Rosenzweig & Hillel. 1998)

**د - الكلوروفلوركربونات Chlorofluorocarbons:**

الكلوروفلوروكروبونات (CFCs) عبارة عن مجموعة من المركبات المخلقة فى الصناعات الكيميائية، وتستخدم فى العديد من الأغراض الصناعية مثل صناعة التبريد وصناعات الإلكترونيات وغيرها. وتؤدى هذه المجموعة من المركبات إلى زيادة تأثير الصوبة ورفع درجة حرارة الكرة الأرضية (بالإضافة إلى تأثيرها فى تآكل طبقة الأوزون فى الاستراتوسفير). ولسوء الحظ فإن تلك المجموعة من المركبات تعتبر خاملة ومن ثم يصعب تحللها فى طبقة التروبوسفير، وبالتالى فهى تصعد إلى





طبقـة الاستـراتوسفيـر (التى تحتـوى على غطاء الأوزون الواقى من الأشعـة فوق البنفسـجية). وعند تعرض مركـبات الكلوروفلوروكربون للأشـعة فوق البنفسـجية يتصاعد أيون الكلورين الذى يتفاعل مع جـزيئات غاز الأوزون محطمًا تلك الطبقة التى تعمل كحماية للكرة الأرضية.

توجد مجمـوعة الكلوروفلوروكربونات فى طبقات الهـواء القريبة من سطح الأرض (التروبوسـفير) بتركيـز منخفض جداً يقاس بجزء فى الـتريليون (pptv). وبالرغم من ذلك فإنهـا تلعب دوراً فى ظاهرة الاحتباس الحـرارى حيث إن درجة امتصـاصها للأشعـة تحت الحمراء تعادل عـشرة آلاف ضعف من غاز ثانى أكـسيد الكربون، هذا بالإضافة إلى أنها مجموعة "خـاملة" فيمكن أن تستمر فى الغلاف الجوى لعشرات الأعوام، بل ولقرون.

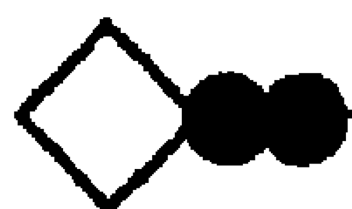
ويوجد مركـبان رئيسيان لمجمـوعة الكلوروفلوروكربون (CFCs) فى الغلاف الجوى هما:-

* CFC-11: ويبلغ تركيزه ٣٠٠جزء فى التريليون.
* CFC-12: ويبلغ تركيزه ٥٠٠ جزء فى التريليون.

وتلك التركيزات فى تصاعد مستمر بالرغم من خفض الإنتاج العالمى بحوالى ٤٠٪ بين أعوام ١٩٨٦-, ١٩٩١

**هـ- تغير المناخ (نقلا عن محمد عبد الفتاح القصاص ٢٠٠٦):**

كانت قضايا تغير المناخ من المجالات الرئيسية لدراسات علوم الأرض. المناخ تغير عـلى مدى العصور الجيـولوجية القديمـة. وكان لهذا التغيـير آثاره على تطور الحـياة على سـطح الأرض وفى البحـار. وكـان تغيـر المناخ فى غـضـون العصـر الجيولوجى الرابع (المليون سنة التى تشمل الزمن الحاضر) موضوع الاهتمام الخاص لأنه عصر نشـأة الإنسان. تبدلت فى العصـر الرابع فترات اتسع فيهـا نطاق الجمد القطبى حتى غطى أغلب المناطق الشـمالية من كتلة أوروبا وآسيـا ومن كتلة أمريكا الشماليـة، وفترات تراجع الجمـد، وانكشفت الأراضى التى كان قد تراكم فـوقها





الجمد. ترجع هذه التغيـرات التبادلية (عصور الجمد - عـصور ما بين الجمد) إلى تغيرات فى أوضاع الكرة الأرضية (زاوية مـحور دوران الأرض حول نفسها - إطار مســار الأرض فى دورانها السنوى حول الشـمس)، وفى حالة التوهج الشـمسى. هذه تغيرات كونية تتصل بالنواميس الحاكمة، وعصور التغير تقاس بعشرات الألوف من السنين.

ولكن ما يشغل البال فى الحاضر هو ما يمكن أن يطرأ على مناخ الأرض من تغيرات نتـيجة نشاط الإنسان وخـاصة ما يطلقه من غازات تخـتلط بهواء الغلاف الجوى، وهى غازات تسـبب زيادة تركيزاتها ارتفاعـات فى درجات الحرارة (الدفء العالمى). لمثل هذا الدفء آثار مباشرة كتمدد مياه البحار والمحيطات (ارتفاع مستوى سطح البحر) وذوبان تكاوين الجمد فى المناطق القطبيـة وسفوح الجبال العالية، وله آثار على عناصر المناخ الأخرى مثل حركة الرياح والمطر.

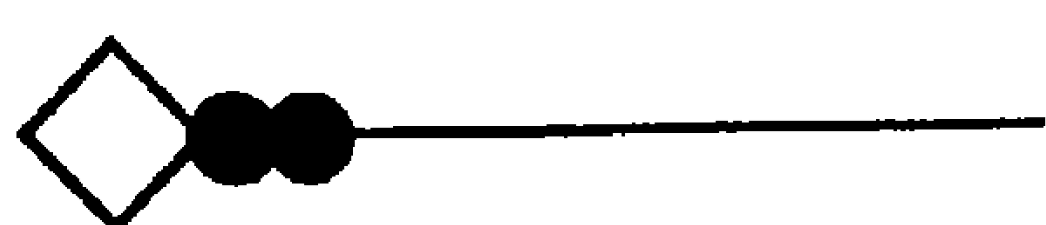
فيما بين عامى ١٩٧٥ و١٩٩٠ قادت المنظمة العالمية للأرصاد الجوية وبرنامج الأمم المتحدة للبيـئة برامج للبحوث والدراسات عن المناخ، وعـقد المجتمع الدولى عدة مؤتمرات علميـة لمراجعة قضية تغير المناخ فى الزمن الحـديث. كان ختام ذلك إقـرار الاتفاقـيـة الإطارية عن تغيـر المناخ (١٩٩٢) وإنشـاء لجنة دوليـة حكوميـة لدراسات تغير المناخ، تصدر هذه اللجنة التى يشارك فيها أكثر من ألف من العلماء والخبراء، تقارير ودراسات تحيط بموضوع تغير المناخ من سائر الوجوه وخاصة:

١- التحليل العلمى لموضوعات تغير المناخ.

٢- تحليل الآثار التى تتبع هذا التغير.

٣- وسائل العمل لدرء الأضرار.

تعتمد دراسات المناخ على إنشاء نماذج ريـاضية (نماذج الدورات الكلية) تفيد من طاقات الحاسـبات الكبيرة على تناول البيـانات والمعادلات الحاكمة لعـلاقاتها. بهذه الوسـائل يمكن «إجراء تجارب على الحـاسب» لتبين مـا يمكن أن يحدث فى





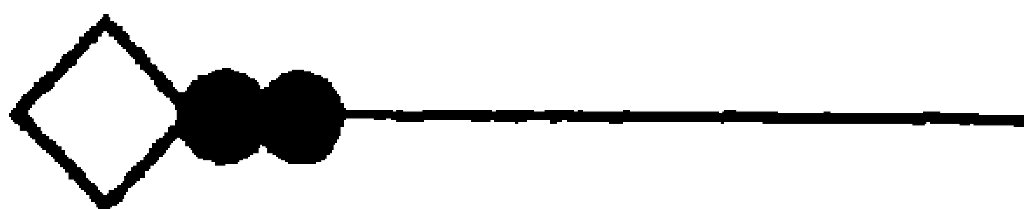
المستقبل على مستوى العالم. الأصل التنبؤ بقدر ارتفاع درجات الحرارة (الدفء العالمى)، والأعقد هو التنبؤ بتوابع هذا الارتفاع على عناصر المناخ الأخرى خاصة توزيع المطر وعلى مستوى سطح المياه فى البحار والمحيطات، هذه النماذج قادرة على التنبؤ بما ستكون عليه درجات الحرارة عندما تصل تركيزات الغازات الحابسة للحرارة فى الهواء الجوى إلى ضعفى ما كانت عليه قبل عصر الصناعة والوقود الحفرى: كانت تعادل ٢٧٠ - ٢٩٠ جزءاً فى المليون بالحجم، ثانى أكسيد الكربون تصل أواخر القرن الحادى والعشرين إلى ٥٥٠ - ٦٠٠ جزء فى المليون بالحجم، حاليا تركيزها حوالى ٣٧٠ جزءاً فى المليون بالحجم. الارتفاع المتوقع فى درجات الحرارة يتراوح من ١,٥ إلى ٤,٥ درجة مئوية.

لكن هذه النماذج الكلية غير قادرة على التبين الدقيق للآثار الإقليمية لهذا الدفء، وخاصة الآثار على معدلات المطر. جاء فى تقرير اللجنة الدولية الحكومية عن تغير المناخ والمنشور عام ١٩٩٨ بعنوان الآثار الإقليمية لتغير المناخ، بشأن منابع نهر النيل (ص٤٧ - ٤٨ فى التقرير) أن «نماذج الدورات الكلية تعطى صورا مختلفة عن مستقبل موارد النهر، من زيادة تصل إلى ٣٠٪ إلى نقص يصل إلى ٧٨٪. هذا التباين الذى يدل على عدم التيقن بشأن مستقبل المناخ يجعل المسئولين عن إدارة شئون حوض النهر عاجزين عن اتخاذ القرارات المناسبة؛ لذلك تبرز الحاجة إلى نماذج دورات إقليمية تغطى حوض النيل جميعا حتى يقل مدى عدم التيقن». يعنى هذا توصية إلى دول الحوض أن تتعاضد لوضع وتنفيذ برنامج إقليمى لدراسات المناخ. تشارك فيه هيئات الأرصاد الجوية فى دول الحوض العشر، وتعينهم الهيئات العلمية الدولية المعنية بقضايا المناخ.

**البرنامج الإقليمى:**

تبينا فيما سبق أن المناخ فى حوض نهر النيل يجمع نظما مناخية متباينة من نواحى العوامل الفاعلة والمؤثرة خاصة على المطر. البرنامج الإقليمى يستهدف وضع إطار متكامل يجمع هذه النظم ليستخلص من تفاعلاتها ما يمكن أن يبين صورة المستقبل.





**التمهيد للبرنامج الإقليمي يقتضى استكمال العناصر الرئيسية التالية:**

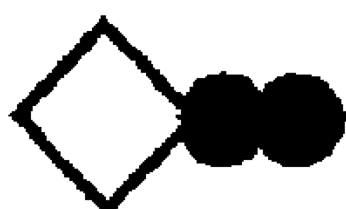
١- إنشاء قاعدة بيانات للأرصاد الجوية التى تحفظها شبكات الرصد الجوى المنتشرة فى سائر أجزاء حوض النهر، وهى بيانات متفرقة فى الهيئات الحكومية التابعة لدول الحوض. يقتضى الأمر جمع البيانات، والعمل على تنقيتها من الشوائب وأوجه الخلل ليكون فى قاعدة البيانات مجموعات منتظمة وموثقة على مدى زمنى مناسب. توجد حاليا ما يشبه هذه القاعدة ضمن قاعدة بيانات دولية عن أرصاد المطر فى جامعة شرقى إنجلترا بالمملكة المتحدة، منها بيانات ٤٠٠ محطة أرصاد فى حوض نهر النيل.

٢- دراسات علمية على ظواهر المناخ فى النظم المناخية الخمسة التى أشرنا إليها فيما سبق. هذه الدراسات تترجم إلى معادلات رياضية تعبر عن التفاعلات المناخية فى كل نظام. هذا جهد علمى بالغ.

٣- دراسات على استخدامات الأرض وآثارها على المناخ الموضوعى والمناخ الإقليمى. هذه الدراسات تبين العلاقات بين النشاط الإنسانى وبين عناصر المناخ.

٤- دراسات على العلاقات بعيدة المدى المكانى بين نظم المناخ فى العالم وأثرها على عناصر المناخ فى إقليم حوض النيل. سبقت الإشارة إلى علاقة الظواهر البحرية فى شرق المحيط الهادى (الشواطئ الغربية لقارة أمريكا الجنوبية - النينو) وظواهر الضغط المتبادل فى أطراف المحيطات الجنوبية الباردة على المناخ فى بقاع بعيدة من العالم. ونشير كذلك إلى علاقات بين ظواهر مناخية بحرية فى شمال المحيط الأطلسى وتخوم المحيط المتجمد الشمالى وظواهر المناخ فى المحيط الهندى. وللمحيط الهندى دور فاعل فى مناخ شرقى أفريقيا.

هذه الدراسات التمهيدية تتيح العناصر لبرنامج إقليمى: نموذج للدورات الإقليمية، يكون أداة لقدرة التنبؤ بمستقبل المناخ (أو المناخات) فى إقليم حوض النيل، فى هذا البرنامج طموح علمى بارز، ويحتاج إلى احتشاد العلماء والخبراء





وتعاضد الهيئات العلمية فى دول الإقليم. وهو برنامج ذو تكاليف عالية، ولكن مصادر الدعم الدولى متاحة (مرفق البيئة العالمى يخصص جزءاً من موارده لدراسات المناخ)، ونتائجه لازمة لتتمكن دول الحوض من تبين خطى المستقبل.

**كلمة إضافية:**

الحديث عن تغيرات المناخ المتوقعة فى أواخر القرن الحادى والعشرين يتصل بالحديث عن الآثار التابعة للدفء العالمى على مياه البحار والمحيطات، وما يتوقع على نحو ما تبين نماذج الدورات الكلية من ارتفاع مستوى سطح مياه البحار. تقديرات هذا الارتفاع تتراوح من ٢٠ إلى ٨٠ سنتيمترا نتيجة تمدد كتل الماء بالحرارة. ولو أضفنا إلى هذا ناتج ما يسيل من كتل الجمد بفعل الدفء لزادت تقديرات الارتفاع.

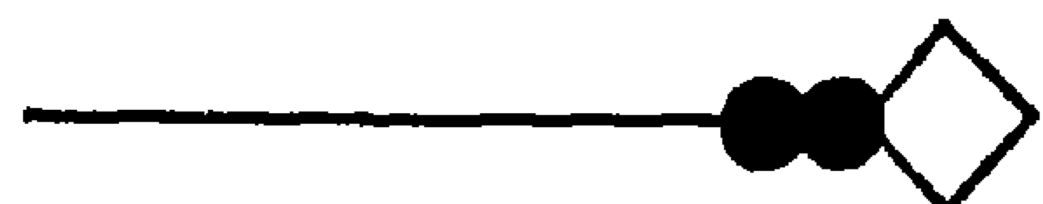
المناطق الشمالية من دلتا النيل وتخومها الغربية يتهددها هذا الارتفاع فى مستوى مياه البحار. وكل دراسة تجرى فى العالم على أثر ارتفاع منسوب المياه على النطاقات الساحلية تتناول الدلتا المصرية ودلتا البنجلادش بالتقصى. نذكر منطقتين يتهددهما فيضان البحر:

١- منطقة الظهير الداخلى لمدينة الإسكندرية (بحيرة مريوط والأجزاء الغربية من محافظة البحيرة. هذه الأرض تقع دون سطح البحر، ويحميها من الغرق الجسر المقام عند أبى قير (جسر محمد على)، ويذكر التاريخ أن قوات الأسطول البريطانى بقيادة نلسن شقت هذا الجسر فأغرقت تلك الأراضى لتعزل قوات نابليون بالإسكندرية عن قواته فى القاهرة.

٢- منطقة شمال الدلتا: بحيرة المنزلة وتخومها الجنوبية وبحيرة البرلس وتخومها الجنوبية، فيها الأراضى التى تم استصلاحها واستزراعها على امتداد القرن العشرين والأراضى التى يتم استصلاحها واستزراعها فى إطار مشروع ترعة السلام (قطاع غرب قناة السويس).

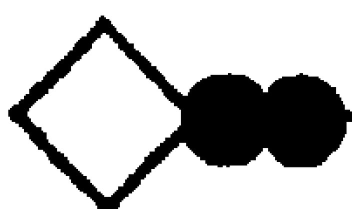
دراسات مستقبل المناخ ستتيح لمصر المعارف اللازمة لتبين مخاطر المستقبل، ووضع برامج توقّى هذه المخاطر. لدينا دراسات مستفيضة قام بها العلماء المصريون





(معـهد بحوث حـماية الشواطئ) بالتـعاون مع مراكـز بحوث دولية (خـاصة من هولندا). نتائج هذه الدراسات تستحق المزيد من الاهتمام.

يتـسع المجـال هنا كـذلك للحـديث الذى طرحـناه بشـأن برنامج إقليـمى لدراسات المناخ يغطى حوض نهر النيل تتعاون فى إطاره دول الحوض، عن برنامج إقليـمى لدراسات المناخ يغطى حـوض البحـر المتوسط جمـيعـا، أو يغطى القطاع الجنوبى من الحـوض. وقد سـبق لكاتب هذه السطور (أ.د. أحـمد عبـد الفـتاح القصاص) أن ذكر المؤتمر الدولى الثـانى للمناخ (جنيف ١٩٩٠) بفكرة إقامة قنطرة على مضيق جبل طارق، وقنطرة على مضـيق باب المندب تتيح لدول إقليمى البحر المتوسط والبـحر الأحمر القدرة على التـحكم فى مستوى سطح الماء فـى البحرين (البخر فى البـحرين أكثر من المطر؛ ولذلك يمكن التحكم فى دخـول مياه المحيط الأطلسى (جبل طارق) والمحيط الهندى (باب المندب)، ومنع ارتفاع البحر بما يهدد النطاقـات الساحليـة. هذه المشـروعات وصـفهـا علماء النصف الأول من القـرن العـشرين بقـصد إنتـاج الطاقة من قناطر باب المندب، وإنشـاء الاتصال بيـن قارة أفريقـيا وآسيـا، والتحكم فى ميـاه البحر المتـوسط لكشف نطاقات ساحليـة تتسع كمشروعات عمران. القصد مختلف ولكن الفكرة على رغم صعوبتها وتعقدها فى الإنشاء وفى الإدارة تستحق النظر. (راجع أيضا مستقبل المناخ والتغيرات البيئية من دول حوض النيل - الفصل الثامن).





## - مراجع مختارة:

### أولاً المراجع العربية:

محمد عبد الفتاح القصاص (٢٠٠٦): النيل فى خطر: دار المعارف - مصر.

محمد محمد الشاذلى (٢٠٠٠): مبادئ علم بيئة الحشرات. الدار العربية للنشر - مصر.

محمد محمد الشاذلى/ على على المرسى(٢٠٠٠): علم البيئة العام والتنوع البيولوجى- دار الفكر العربى - مصر.

### ثانيا: المراجع الأجنبية:

**Barry, R.G. 1969.** The world Hydrological Cycle: 11-29. In R. J. Chaorley (ed). Water, Earth, and Man-Barnes and Nobil New York.

**Bolin, B, (ed). 1981.** Carbon Cycle modeling. John Willey and Sons.

**Bolin, B, 1983.** The Carbon Cycle In Bolin, B and R. Cook (eds) The Major Biogeochemical Cycles and their interactions Scope-21 John Wiley.

**Bolin, B; Degens, E.T; Kemp, S and Kenter, B.(eds.) 1979.** The Global Carbon Cycle. John Wiley and Sons.

**Bolin, B, and Cook, R.B (eds.). 1983.** The Major Biogeochemical Cycles and their Interactions. John Wiley and Sons.

**Chapman, J. L. and M. J. Reiss. 1995.** Ecology: Principles and Applications Cambridge Low Price Edition.





**Delwiche, C.C. 1970.** The nitrogencycle. Sci Amer. 223 (3): 149 - 167.

**Elton, C. 1927.** Animal Ecology. Metuen (Reprinted 1971).

**Gribbin, J. 1988.** The Greenhouse Effect. New Scientist Inside Science 22 October: 1-4.

**IPCC, 1990.** Climate Change: The IPCC Scientific Assessment. J. T. Houghton, C. J. Jenkins, and J. J. Ephraums (eds.) Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. 365pp.

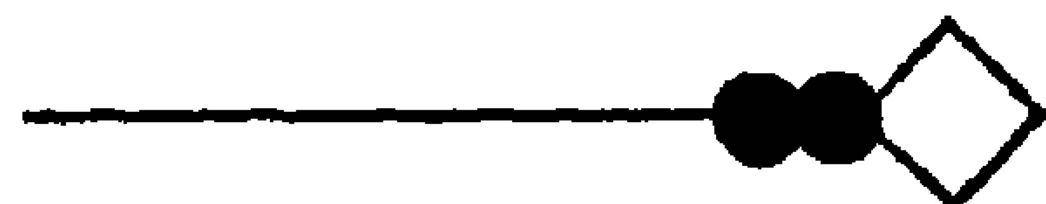
**IPCC, 1992.** Climate Change 1992: The Supplementary Report to the IPCC Scientific Assessment. J. T. Houghton, B. A. Callander and S. K. Varney (eds.). Intergovermental Panel on Climate Change. Cambridge Univeristy Press. Cambridge. 200pp.

**IPCC, 1995.** Climate Change 1994: Radiative Foreing of Climate Change and an Evaluation of the IPCC IS92 Emission Scenarios. J. T. Houghton, L. G. Meira Filho, J. Bruce, Hoesung Lee, B. A. Callander, E. Haites, N. Harris, and K. Maskell (eds.). Intergovermental Panel on Climate Change. Cambridge Univeristy Press. Cambridge. 339pp.

**IPCC. 1996.** Climate Change 1995: The Science of Climate Change. J. T. Houghton, L. C. Meira Filho, B. A. Callander, N. Harris, A. Kattenberg, and K. Maskell (eds.). Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge. 572pp.

**Ivanov, M.V. and Freney, J.R. (eds) 1983.** The Global Biogeochemical Sulphur Cycle. John Wiley and Sons.





**Odum, H.T 1997.** Ecology: A bridge between Science and Societiy. Sinauer Associate Inc. USA.

**Simmons, I. G. 1981.** The Ecology of Natural Resources. 2n Edition. Edward Arnold. London.

**Stiling, P. (1992).** Introductory Ecology. Prentice Hall, Inc.

**Teal, J.M. 1962.** The Energy Flow in Small Marsh Ecosystem of Georgia. Ecology 43: 614-624.

**Transeau, E.N. 1926.** The Accumulation of Energy By Plants Ohio J. Science. 26: 1-10.

**Van Der Leeden, F. 1975.** Water Resources of the World lected Statistics. Water Information Center, Port Washington. N.Y.

**Van Hylchama, T.E.A. 1975.** Water Resources: 147-165. In W.W. Murdoch (ed). Environment. Sinauer Associates, Sund land, Mass.

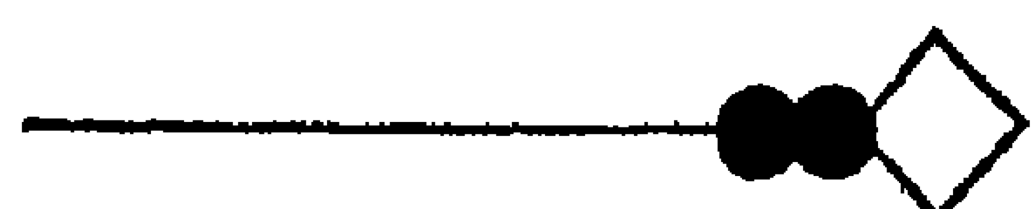
**Varley, G. G. 1970.** The Concept of Energy Flow Applied to a Woodland Community In Watson A. (Editor). Animal Population in Relation to the Food Resources. A Symp. Of British. Ecological Society. Blackwell Scientific Publication. Oxford.

**White, T.C. 1978.** The importance of a relative shortage of food in animal ecology. Oecology 33:71-86.

**Whittaker R.H. 1975.** Communities and Ecosystems Mac Millan, New York.

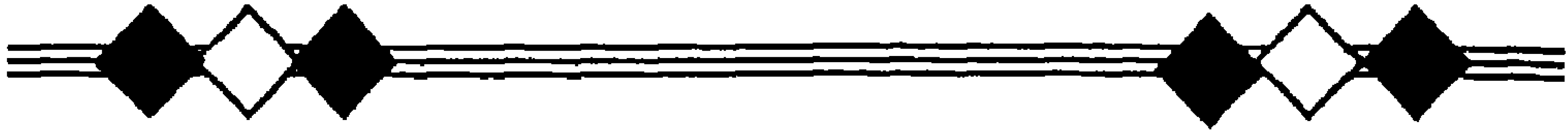
**Woodwell, G.M. (ed.). 1984.** The Role of Terrestrial Vegetation in the Global Carbon Cycle: Measurment by Remote Sensing. John Wiley and Sons.





# الفصل السادس

## وظائف النظام البيئى



١- النظام البيئى كيانات وظيفية

٢- الوظائف فى تحليل النظام البيئى

٣- الجوانب البيئية.

٤ - الجوانب الاجتماعية والاقتصادية.

٥- التنمية المستدامة ووظائف النظام البيئى.

- مراجع مختارة.

## ١- النظام البيئى كيانات وظيفة

يوجد فصل واضح فى علم الأنظمة البيئية، بين البحث فى المصادر، وتحديد التوزيع المكانى للعناصر الحية وغير الحية للنظام من جهة، ودراسة انسياب وتخزين وتوازن الطاقة والمواد من جهة أخرى. تلك الجهود تبذل بشكل متصل بالرغم من أن جوهر علم الأنظمة البيئية هو إيجاد أوجه التكامل والعلاقات بين الجوانب التركيبية والوظيفية فى النظام البيئى، وقد قدم (Muller and Windhorst, 2000) بحثا نظريا لمحاولة إيجاد علاقة بين عناصر النظام البيئى على أنها كيانات تركيبية ووظيفية فى آن واحد.

هناك العديد من التعريفات والمفاهيم للفظ وظيفة Function فمثلا يستخدم لفظ وظيفة لتحديد طبيعة نشاط أو عمل شىء معين أو قد تعنى كلمة وظيفة «دور» شىء معين، وقد تعنى أيضاً «إسهام» أو مساهمة. ولكن لإيضاح مدلول لفظ «وظيفة» يجب أن نلاحظ أن هذا المدلول يشتمل على:

- تفاعلات الأنماط التركيبية.
- العلاقات بين العمليات المختلفة.
- دور الجزء لصالح الكل (مثل دور عضو لصالح الجسم).
- مشاركة الأجزاء لتأدية أداء جماعى.

والآن، وبعيدا عن تداخلات مفهوم اللفظ «وظيفة» يجب أن نأخذ فى الاعتبار أن كلا من كيانات النظام البيئى البيولوجية وغير البيولوجية يساهم بنشاط معين، وتتفاعل تلك الأنشطة وتتداخل أيضا لاستمرار المنظومة البيئية. ويمكن تناول لفظ وظيفة فى الأنظمة البيئية على ثلاثة محاور وهى:

١- الوظائف فى تحليل النظام البيئى Functions in System Analysis.

٢- الوظائف فى علم النظام البيئى Functions is System Ecology.

٣- الوظائف فى اقتصاديات البيئة Functions in Ecological Economy.

## ٢- الوظائف فى تحليل النظام البيئى Functions in System Analysis

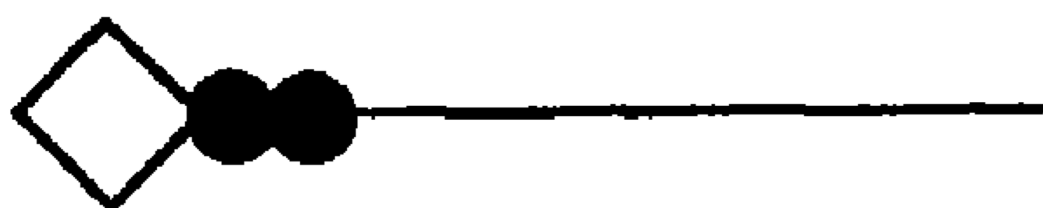
أعطى (Bahg, 1990) دلالة للفظ «وظيفـة» فى النظام البيئى حيث اعـتبر أن الوظيفة تدل على درجـة من درجات التفاعل والعمليـات فى النظام. وذلك يشابه (Janstsch, 1988) الذى اسـتخدم لـفظ «وظائف» بمعنى خصـائص العمليـات فى النظام ومن ثم فإن لفظ وظيفـة يستعمل لتوصيف عمليـة منظمة أو حالة منظمة أو تعضّ منظم Ordered Organisation ومن هنا يمكن القول بأن إجمـالى العلاقات فى النظام البيئى تصبح وظيفته.

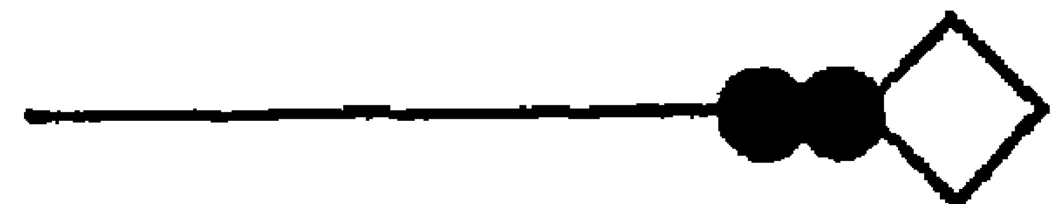
ولكن هناك وجهـة نظر تبدو أكثر وضوحـا فى تفسير لفظ «وظيـفة» النظام البيئى. فالأنظمة تتكون من عناصر ويمكن تقسيمها إلى تحت أنظمة Subsystems وعلاقات Relations وتلك العلاقات هى التفاعلات بين العناصر وتحت الأنظمة. فانتشار وتواجد العناصر بطريقة معينة يكون فى النهـاية تركيبا معينا لكيان محدد، وهذا ما يمكن وصفـه على أنه التركيب الفراغى والزمانى، أو يمكن أيضـا تعريفه بالنسبـة لنواحى معينة مـثل حركة المادة وديناميـكية وانسيـاب الطاقة. ونصل إلى استنتاجها واضحا وهو:

مجموعة العلاقات تسمى وظيفة، وبصفة عامة فإن الوظيفة فى النظام البيئى تتضمن كل العـلاقات مثل انسياب الطاقة وحركـة المواد والمياه والمعلومات ومن ثم فإن الوظيـفة تشمل كل التغـيرات لأن التغيرات يتـرتب عليها تحورا فى العـمليات البيئية فى أى وقت.

## ٣ـ الجوانب البيئية Ecological Aspects:

إن تحـديد لفظ وظيفـة Function فى النظام البـيـئى يمكن أن يحـدد دور العمليات البيئية المختلفة، ذكر (Odum, 1983) أن الوظائف فى النظام البيئى تتكون من حركة وتبدل المتغيرات نتيجة الاختلافـات المستمرة فى أنصبة الأنظمة البيئية من الطاقة. وصف Schwerdfeger, 1975 التوظيف Functioning فى النظام البـيئى على أنه محصلة التفاعلات فى التـركيب البيئى. وأخيرا أعطى (Schaefer, 1992) أربعة تعريفات لوصف وظيفة:





(١) مجموع العمليات الحيوية فى الكيان البيئى.

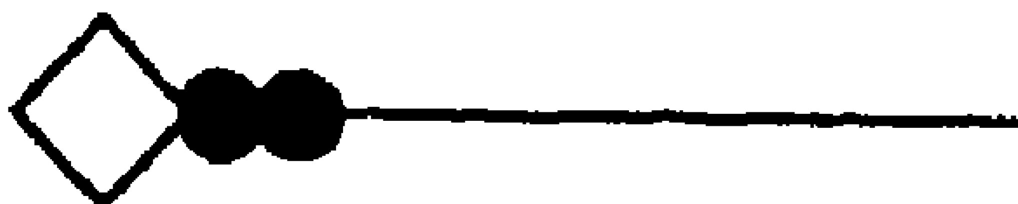
(٢) أنشطة الكائن الحى.

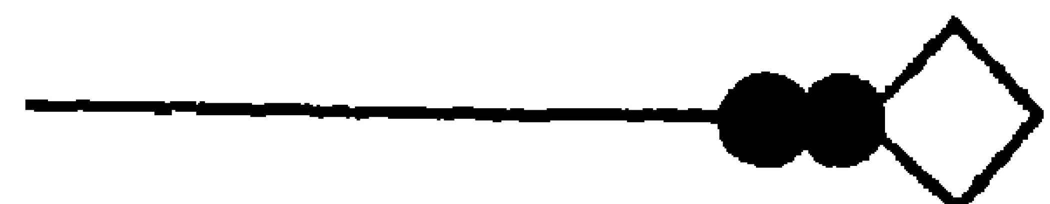
(٣) مغزى الكائن الحى فى النظام البيئى.

(٤) استمرارية حالة الاستقرار.

وإذا ما قبلنا تعريف لفظ وظائف على أنـه «أنماط تفاعل العمليات فى النظام البيئى» فيمكن أن نجد بعض الأمثلة والصفات لخصها المؤلف فى جداول ١ ، ٢، ٣ حيث تجـد أن الأنظمة البيئـية تعطى العديد من العـلاقات المختلفـة بين عناصرها المتعددة، فالوظيـفة يمكن أن تكون «تحت فئة» Subset من القيمة الكـلية لعلاقات النظام البيئة Total Set of Ecosystemic Relations.

يجب أن تخضع الوظائف الهـيدرولوجية فى النظام البيـئى للتحديد الكمى حيث إن الماء هو أهم عنصر نـقل للمـواد داخل أجسام الكائنات الحية وخـارجها، بالإضافة إلى أن الماء مذيب هام ويعتبـر عنصرا محوريا في توازن الطاقة فى النظام البيئى. وعلاوة على ذلك فإن الماء من أهم العناصر غير الحية التى تحدد مدى قدرة الكائنات الحـية على البـقاء في منطقـة ما، ويوضح شكل (١)، أهمـية انسـياب وتخزين المياه كجـزء أساسى من وظائف النظام البيئى والتأثير المتـبادل بين انسياب المياه وتواجد وانتـشار المواد الحية وغير الحيـة فى النظام البيئى. (عن Muller and Windhorst, 2000).





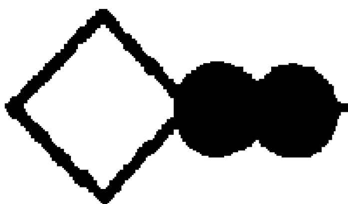
**جدول (١): أمثلة لبعض الأنماط الوظيفية**

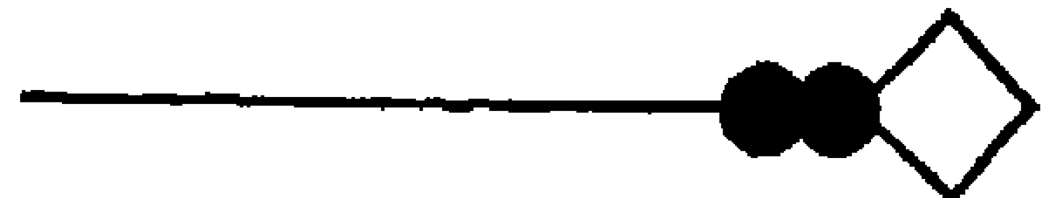
**(التفاعلات البيئية فى النظام البيئى)**

| تفاعلات طاقة |
| --- |
| - العناصر وعلاقات الإشعاع والطاقة الإشعاعية فى النظام البيئى.<br>- العناصر وعلاقات التوازن الحرارى فى النظام البيئى.<br>- انتقال الطاقة فى الشباك الغذائية وتخزينها فى الكائنات والتربة وبقايا الكائنات.<br>- خروج الطاقة بالبخر والنتح. |
| **تفاعلات المياه** |
| - نقل المياه من مكان لآخر فى النظام البيئى خلال النبات.<br>- فقد المياه، النتح والبخر.<br>- نقل المياه وتسربها وتخزينها فى التربة.<br>- حركة المياه الجوفية والسطحية. |
| **تفاعلات المواد** |
| - نقل المواد المذابة مع انسياب المياه.<br>- نقل الغازات من وإلى الغلاف الجوى.<br>- أيض وتخزين المواد فى الكائنات الحية. |
| **تفاعلات حيوية** |
| - التنافس.<br>- التكافل.<br>- التطفل.<br>- المعايشة. |

جدول (٢) بعض خصائص العلاقات الوظيفية فى النظام البيئى

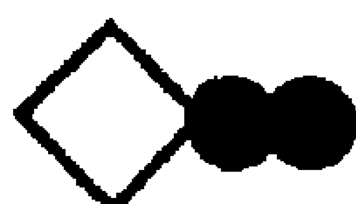
| شكل التفاعلات |
| --- |
| تغذية استرجاعية موجبة ⟺ تغذية استرجاعية سالبة |
| **اتساع التفاعلات**<br>تأثير غير مباشر ⟺ تأثير مباشر |
| **تعقد التفاعلات**<br>تأثيرات شبكية ⟺ تأثيرات متسلسلة |
| **زمن التفاعلات**<br>تأثير مزمن- مستمر على المدى الزمنى الطويل⟺ تأثير تلقائي- محدد بإطار زمنى أو فترة معينة |
| **منطقة التفاعلات**<br>تأثير على أكثر من وسط ⟺ تأثير على وسط معين |
| **مدى التسلسل الهرمى للتفاعلات**<br>تأثير على مجمل الأنظمة ⟺ تأثير على نظام بيئى معين |
| **المدى المكانى للتفاعلات**<br>تأثير إقليمى أو يشمل الكرة الأرضية ⟺ تأثير محلى أو موضعى فى منطقة ما |
| **ازدواجية التفاعلات**<br>تأثير متعدد ⟺ تأثير آحادي البعد |
| **دلالة واهمية التفاعلات**<br>تأثير ضعيف ⟺ تأثير قوى |



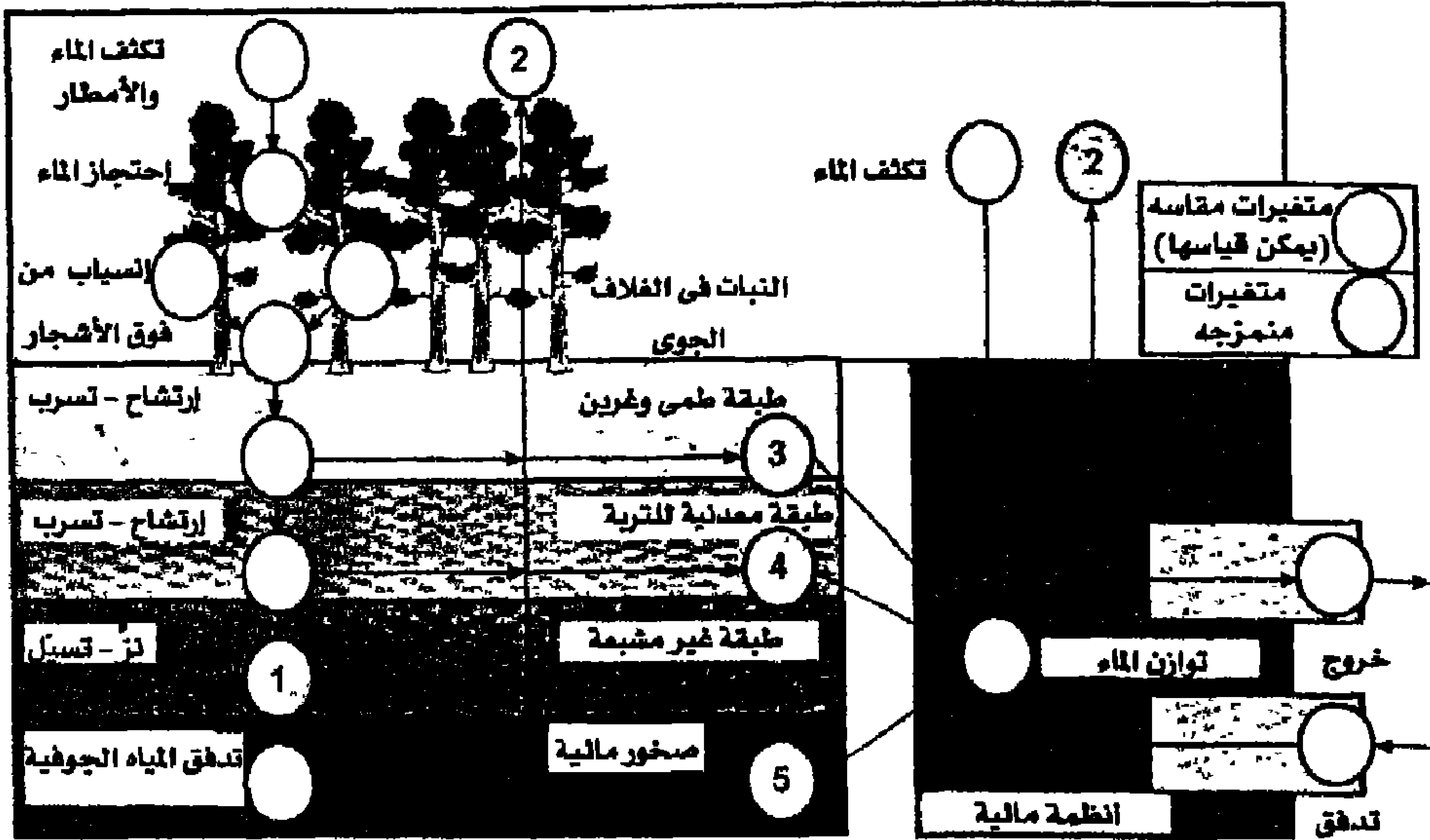


**جدول (٣) بعض العوامل الحيوية التى تشكل عوائق تفاعلية للمجتمعات وأداء عملياتها الوظيفية.**

| |
|---|
| **عوامل جيولوجية** |
| مثل أنواع الصخور ومستوى المياه الجوفية |
| **عوامل طوبوغرافية** |
| مثل تآكل التربة، عدم التجانس الطوبوغرافى للمسطحات |
| **عوامل التربة** |
| مثل نوع التربة ودرجة تركيز أيونات الهيدروجين |
| **عوامل الطقس** |
| مثل الإشعاع، الضوء، درجة الحرارة، الرياح، الضغط الجوى |
| **عوامل جيوكيميائية** |
| مثل وجود العناصر المغذية فى التربة، العناصر النادرة |
| **مدخلات غير حية** |
| مدخلات الغلاف الجوى مثل الإشعاع، الأمطار. |
| **مخرجات غير حية** |
| مثل البخر، خروج المياه من النبات بالنتح، انسياب المياه من سطح التربة إلى الطبقات السفلى وارتشاحها من الطبقات السفلى إلى البحيرات والأنهار وغيرها من تجمعات المياه |





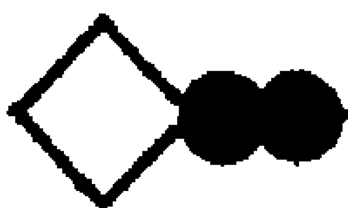



شكل(١): انسياب وتخزين المياه كجزء من وظائف النظام البيئى (١ـ معدل انسياب المياه من سطح التربة حتى تصل إلى خزانات المياه الجوفية) (٢ـ التبخر نتيجة النتح)، (٣ـ التآكل نتيجة المياه)، (٤ـ الانسياب البينى)، (٥ ـ انسياب المياه الجوفية).

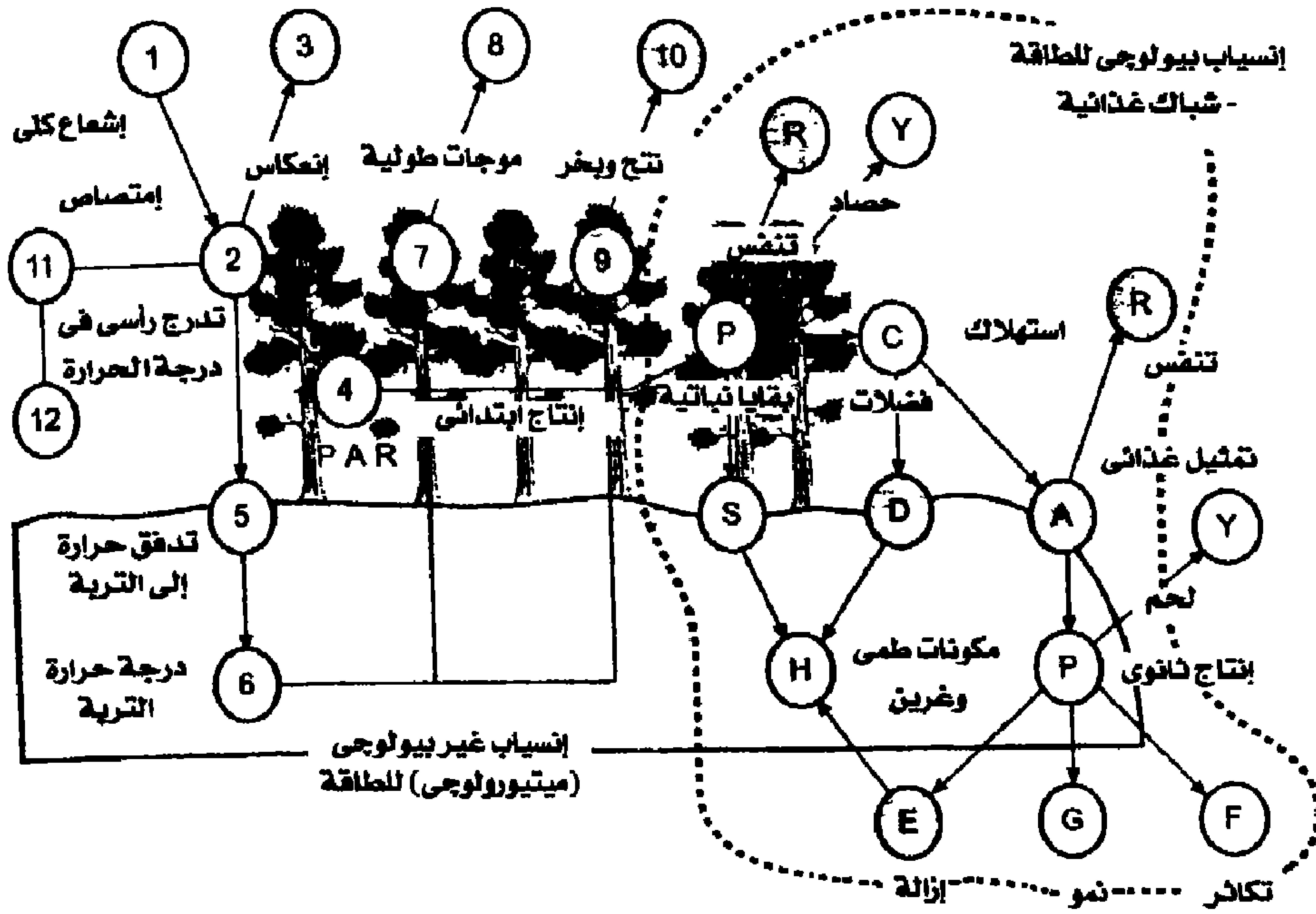
عن (Muller and Windhorst,2000)

ويكونّ انسياب الطاقة فى النظام البيئى تتابعا من العلاقات البيئية تربط بجميع العمليات والتغيرات فى النظام البيئى، تلك العمليات والتغيرات ممثلة فى شكل (٢) فى مستويين متفاعلين حيث نجد فى الشكل أن أحد المستويات هو الانسياب الميتورولوجى للحرارة والإشعاع (انسياب غير بيولوجى للطاقة) والمستوى الآخر هو الإنتاج الابتدائى وعمليات البخر والنتح، ويمكن قياس الانسياب البيولوجى وغير البيولوجى (الميتورولوجى) للطاقة بطرق فسيولوجيا البيئة ecoph-ysiology وأجهزة الأرصاد العادية، فالانسياب الميتورولوجى والإنتاج الابتدائى والحرارة والإشعاع هى الجزء الكمى الواضح من التوازن الكلى للطاقة فى النظام البيئى.

ولكن انسياب الطاقة فى المجتمعات الحية لا يمكن تجاهله، ومن ثم فإنه يقترح أن عمليات انسياب الطاقة يجب أن تتضمن انسياب الكربون (حيث إن الطاقة تختزن فى مركبات الكربون العضوية فى الكائن الحى) فى الشباك الغذائية ويجب حساب الطاقة فى مستجمعات الكربون فى النظام البيئى (المواد العضوية فى التربة وبقايا النباتات المتساقطة وأى بقايا لكائنات حية محتوية على الكربون).





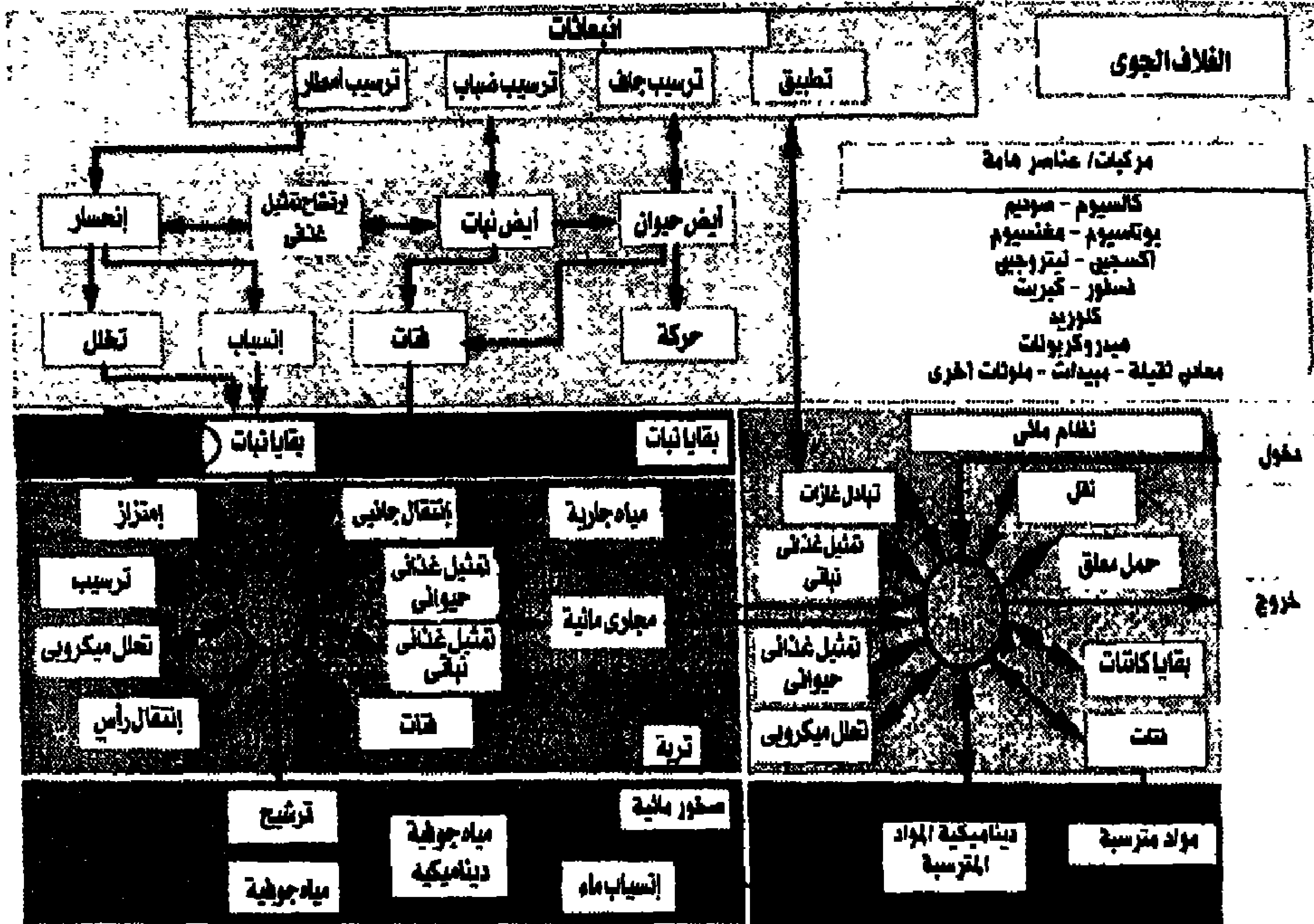



شكل (٢): انسياب وتخزين الطاقة كجزء من وظائف النظام البيئى
(عن Muller and Windhorst, 2000).

إن عمليات إدخال وتخزين وانسياب وفقد «المادة» (مواد على صورة غذاء أو مركبات كيماوية) لها ارتباطات وظيفة بعمليات توزيع وحركة المياه والطاقة فى الأنظمة البيئية. بالإضافة إلى انتقال المواد بالمياه فإن المواد أيضا يمكن أن تنتقل عن طريق انسياب الغازات أو العمليات البيوكيميائية، ويمكن أيضاً بقاء وتخزين المواد عن طريقة عمليات الامتزاز Adsorptive Processes فى جزيئات التربة. وعلاوة على ذلك فإن بقايا العناصر تعتبر مخزنا للطاقة والمواد الغذائية والمواد الكيميائية. وهناك ثلاث فئات من العناصر أو الخصائص الكيميائية البيئية يجب تحليلها من الناحية الوظيفية وهى:

- المغذيات الأساسية: (مثل الكربون - النتروجين - الفوسفور - الكالسيوم - الصوديوم - الماغنسيوم).
- العناصر النادرة الهامة: (مثل المنجنيز - النحاس - الحديد).
- الخصائص الأساسية: (مثل الأس الهدروجينى pH).

ويمكن تحليل الخصائص السابقة كما هو موضح فى شكل (٣)، مع ملاحظة أن تحليل ودراسة حركة المواد ونقلها وتخزينها فى النظام البيئى يجب أن يتضمن الإشعاع الغازى، ويعطى شكل (٣) نموذجا لإيضاح مفهوم تدفق واختزان وتحول المواد فى الأنظمة البيئية ومستجمعات الكربون.




شكل (٣) نموذج لإيضاح مفهوم تدفق fluxes واختزان storage وتحول transformation المواد خلال الأنظمة البيئية (مستجمعات المياه والأمطار والمسطحات الطبيعية). وفى تلك المناطق نجد أن المكونات أو الأقسام ذات الصلة هى طبقة الغلاف الجوى كمكون ثابت ، وطبقة البقايا النباتية والطبقات الأخرى من التربة والصخور المائية (المختزنة للمياه) والترسيبات، بالإضافة إلى النظام البيئى المائى الذى يتصل بالأنظمة المحيطة عن طريق انسياب وتدفق المواد بين النظام المائى والمساحات المحيطة به (Muller and Windhorst, 2000).

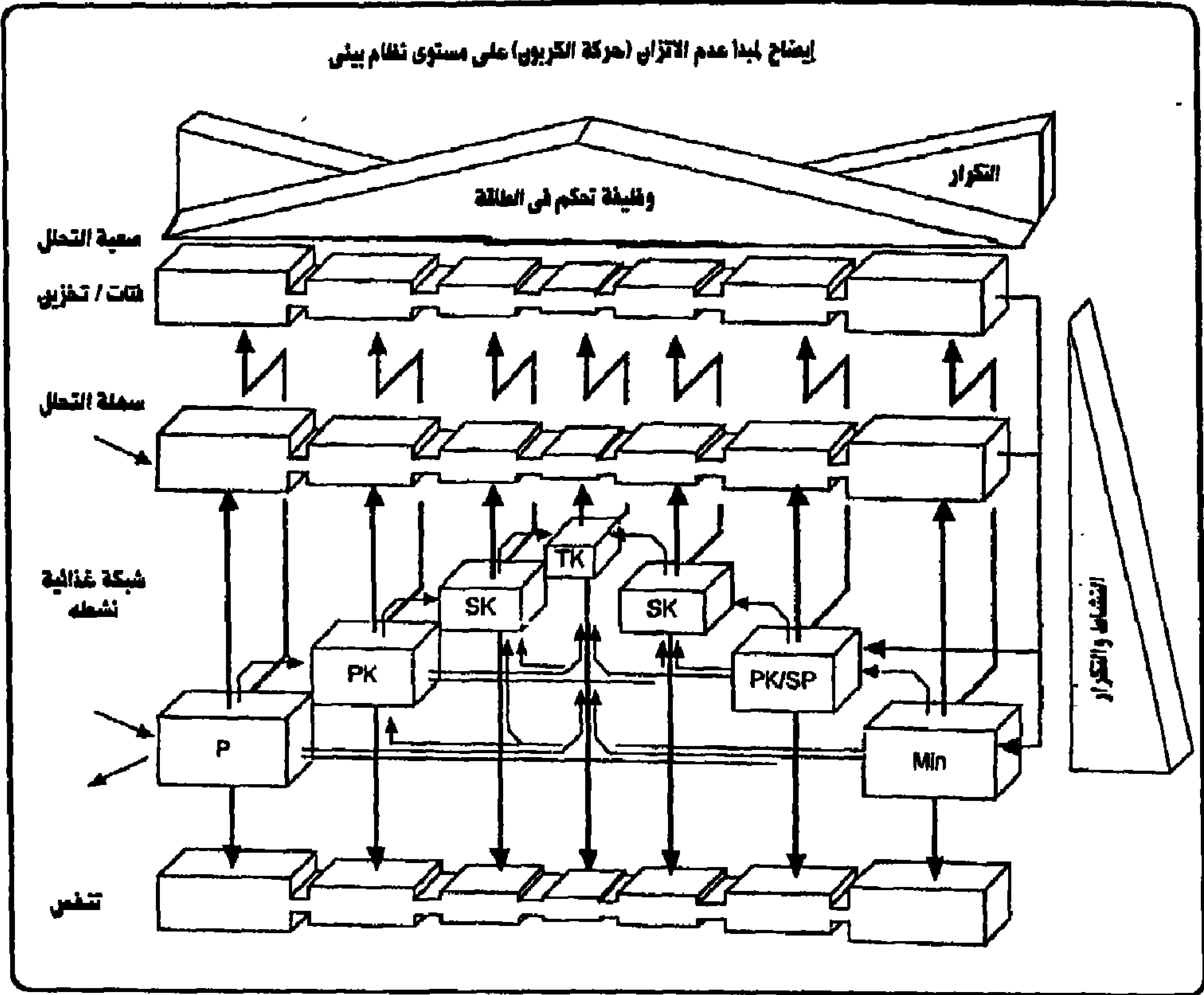
إن المجتمع الحيوى Biotic Community هو الجزء الحى والنشط فى الأنظمة البيئية، فالنبات والحيوان والكائنات الدقـيقة تمثل القوى الدافعة لتدفق المياه والطاقة والمادة فى النظام البيـئى. فـالكائنات الحـية تمثل الجـزء الأسـاسى والرئيـسى فى العـمليـات ذاتيـة التنظيم Self-organizing Processes. ويعطى شكل (٤) فكرا وظيفيـا لتركيب المجتـمع معتمدا على مـبدأ عدم الاتزان الذى يمكن بموجبـه تمييز الدرجـات المخـتلفـة من أنماط التـوزيع الزمـانى والمكانى. ولتـقيـيم درجـة تكامل هـذه العمليـات فـإن بعض المعايير الخـاصة "Bioceonotical Parameters" (راجع Windhorst,and Muller 2000) يجب أن تحـدد كميـا عن طريق اخـتيار أمـاكن محددة لعمليات جـمع العينات على المدى الطويل من أماكن محددة Long Term Sampling Sites. وتعتبـر المتغيرات التى سوف نذكرها من المؤثرات الهـامة لوجود مبدأ الوظيفة للمجتمع Functionality of the community، وتلك المتغيرات هى:

- كثافة وفيض الأهلات والتنوع البيولوجى.
- التغيرات الموسمية وفينولوجيا Phenology الأنواع المختارة.
- مؤشر مساحة سطح ورقة النبات Leaf Area Index للموقع المختار.
- مجموعة مـختارة من الكائنات الحية لتحديد مـحتوى الكربون (والطاقة) وانسياب المواد الغذائية Nutrient flow وتخزينها وتركيز المواد السامة.

ويمثل التنوع العالـى للكائنات الحية مشكلة خاصـة بالنسبة لمتغيـرات المجتمع، ومن ثم يجب اختيار بعض الأنواع لتعريف المدى البيوسنوتر Biocenotical Spectrum (المعايير الخاصة التى سـوف تتم دراستها) الذى يجب فحصه ويمكن استـخدام معايير مثل:

**معدلات الانقلاب أو التحول Turnover Rates:**

ويعطى جدول (٤) ملخصا لتصنيف تلك العمليـات كخصائص وظيفية مثل التضاد Antibiosis، والاتحاد الفسيولوجى Parabiosis، والتكافل Symbiosis.




شكل (٤): المفهوم الوظيفى للمتغيرات البيولوجية فى المجتمع كأجزاء من وظائف النظام البيئى. ويلاحظ أنه موجه بناء على أنظمة الكربون والطاقة على مستويات تصاعدية مختلفة: - منتجات ابتدائية (نبات) ,P- مستهلكات ابتدائية (آكلات عشب) ,PK - مستهلكات ثانوية (مفترسات) ,SK - آكلات لحوم قمة الشبكة (مفترسات قمة) ,TK- كائنات (تخلق) مواد معدنية ,Min- آكلات العفن (كائنات رمية) ,PK, SP-. ويلاحظ فى الشكل أن حركة المواد والطاقة تخرج من شبكتين: مغتذيات على النبات أو كائنات عاشبة على يسار الشكل (شبكة غذائية نباتية)، وكائنات مغتذية على بقايا أجسام الكائنات الحية على يمين الشكل(شبكة رميات وآكلات عفن) (عن Windhorst,and Muller 2000).

جدول (٤): امثلة لأنواع مختلفة من التفاعلات الحيوية (عن Breckling and Muller, 1997) (-) يرمز إلى إحباط (تثبيط)، (+) يرمز إلى تدعيم، (O) يرمز إلى عدم التأثير. (ش١) شريك أول، (ش٢) شريك ثانى.

| نوع التفاعل | ش١ | ش٢ | صفات التفاعل |
| --- | --- | --- | --- |
| - تعادلية Neutralism | | | لا يوجد تأثير متبادل |
| - تضاد Antibiosis | | | تثبيط احد الشركاء |
| - تنافس Competiton | - | - | نضال للحصول على نفس المصدر |
| - افتراس predation | + | - | انتقال الكتلة الحيوية للمفترس |
| -تطفل Parasitism | + | - | الطفيل يستخدم ويضر العائل |
| -تيادہ Amensalism | - | 0 | إحباط احد الشركاء بدون اى منفعة للشريك الآخر |
| - اليلوباثى Allelopathy | 0 | - | إحباط عن طريق منتجات ايض |
| -اتحاد فسيولوجى Parabiosis | | | شريك واحد يدعم |
| -باروكى Parokie | + | 0 | تجاور |
| - ساينوكى Synokie | + | 0 | تعيش فى مستعمرات (اعشاش) انواع اخرى |
| -إيبوكى Epökie | + | 0 | تعيش فى مستعمرات (اعشاش) انواع اخرى |
| - إنتوكى Entökie | + | 0 | تعيش على أنواع اخرى |
| - تفاعلا تصنيعيه Fabric interactions | + | 0 | استخدام كائن اخر لبناء شيء مثل بناء اعشاش |
| -نقل حيوى Phoresis | + | 0 | استخدام فرد اخر للانتقال من مكان لآخر (مثل قملة سمك القرش التى تنتقل بواسكة السمكة) |
| -تبادل منفعة Symbiosis | | | يستفيد الشريكين من العلاقة |
| -تعاون اولى Protocooperation | + | + | التعاون اختيارى |
| -تعاون إجبارى Obligatory Co-operation | + | + | تبادل منفعة إجبارى (مثل حالة النمل الابيض والسوطيات التى تحيا داخل قناته الهضمية للنمل). |

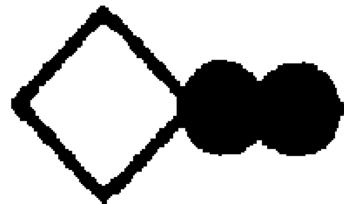
## ٣ - الجوانب الاجتماعية الاقتصادية Socio-economic aspects:

سوف نناقش هذا الموضـوع من خلال نظرتنا للطبيـعة على أنها مـصدر نفع للإنسان، حيث تمدنا الطبيعة باحتياجاتنا من المصادر الطبيعية من أجل نمو الاقتصاد البشرى.

التنمية المـستدامة تهدف إلى توزيع عـادل ونمو مستمر فـى الخدمات والسلع والمنتجات الطبيعية والحفاظ عليها وحمايتها لمنفعة البشرية على المدى الطويل وليس مجرد الاستهلاك المؤقت.

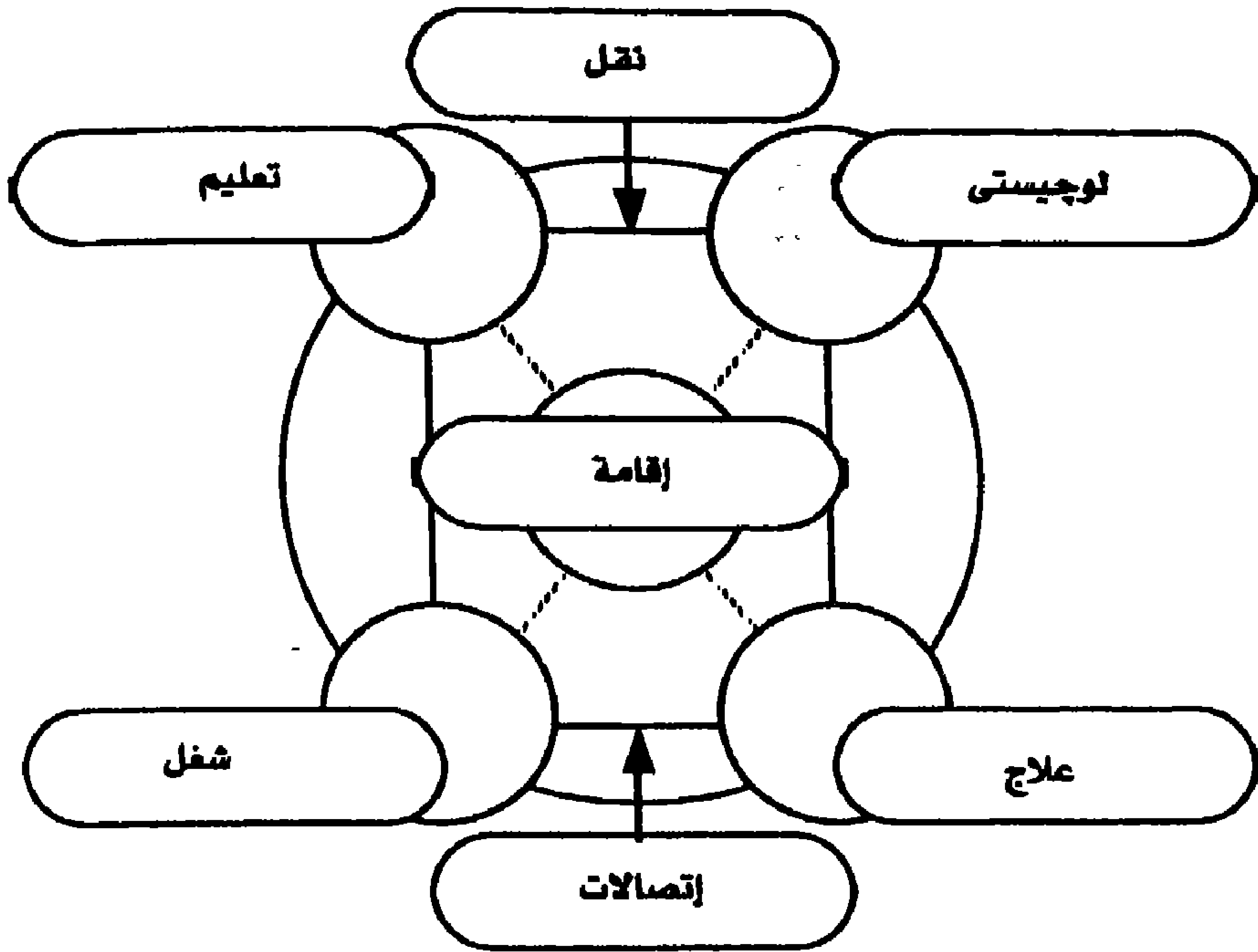
إن التنمية المستدامة Sustainable Development هى مبدأ متعدد الاتجاهات ويتضمن العديد من إسهامات علم البيئة ecology وعلوم المحيط البيئى Environ-mental Sciences، وقد ذكـر (Bossel, 1998a) أن البـحث عن أسس ومبـادئ استرشادية لـعملية التنمية المستـدامة يتطلب نظرة عامة وفاحصـة إلى النظام البيئى ككل أو النظام البيئى للكرة الأرضية Global Ecosystem، هذا النظام الذى أثبت استمرارية على مدى ملايين السنين. إن الأنظمة البيئية فى ذاتها تعتبر نماذج وأمثلة حية للأنظمة المعقـدة المستديمة أو المستدامة فهى مسـتمرة منذ ملايين السنين، ومن الضرورى دراستهـا حتى يمكن أن نتعلم من الطبيعة الإدارة المستـدامة للطموحات والمشروعات البشرية. وبعيدا عن فلسفـة تعلم الإنسان من الطبيعة كنموذج ومثال، فإن القيود البيئية فقط هى التى تحـدد فعاليات الحياة البشرية. هى التى تمد الإنسان بالظروف الصالحة للحياة، إن القيود البيئية هى التى تحدد سلوك الإنسان على المدى البعـيد، ومن ثم فـإن عمليات النظام البـيئى فى مـجملها تشكـل حدود الأنشطة والقرارات البشرية.

إن تفاعل الإنسـان مع الطبيـعة (والذى يمثل طبـقة أو شـريحة من وظائف النظام البيئى). يجـب أن يتغير بشكل تدريجى. يتحـور التركيب البيئى باستمرار نتيجـة تسيد وسيطرة الإنـسان على مقدرات النظام البـيئى، وهذا بدوره يؤثر على الوظائف الطبيـعية لمـكونات النظام البيئى، فـعلى سبيـل المثال نجد ظهـور وتطبيق العديد من الاستراتيجيات لتقييم وإدارة المسطحات الطبيعية Landscape فى خلال السنوات الأخيرة. وتلك الاسـتراتيجيات تعـتمد على المتطلبات الوظيفـية للوجود





البشرى Function of Human Existence مثل النقل والتعليم والعمل والاتصالات كما هو موضح فى (شكل ٥).

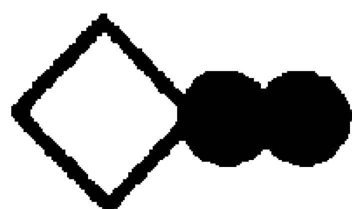



شكل (٥): الوظائف الأساسية للتواجد البشرى. عن (Maier et al.,1977 )

ومن خلال تلك الوظائف الاجتماعية والاقتصادية للإنسان يمدنا النظام البيئى وتحت الأنظمة Subsystems بالخدمات الطبيعية مثل النظافة، الترشيح، إعادة التدوير، دورات المواد، التحذير، النقل، الاكتشافات، الرفاهية، الأمان، الإنتاجية، التحذير المبكر، السيطرة، وغيرها من «الخدمات الطبيعية» وقد ظهرت العديد من النماذج الحديثة (جدول ٥) التى توضح الوظائف الطبيعية للنظام البيئى من منظورات اجتماعية واقتصادية متعددة.

هذا، وقد أعطى (de Groot, 1992) تحليلا لتلك الوظائف (جدول ٦) يعطى هذا الجدول أكثر من «٣٥» وظيفة طبيعية، والإدارة السليمة للأنظمة البيئية والمسطحات الطبيعية تتطلب ضرورة أخذ جميع تلك الوظائف فى الاعتبار.

ومن ناحية أخرى، فإن المعايير المعطاة فى جدول (٦) تؤكد على أنه من المستحيل تقسيم الخدمات الطبيعية بمعيار مادى أو اقتصادى محض، وهذا ما يجب





أن يضعه أصحاب القرار فى اعتبارهم حيث يجب عليهم النظر فى خططهم باهتمام وعلى أسس تعتمد على معلومات وظيفة لمكونات النظام البيئى.

فى إطار الوظائف الاجتماعية الاقتصادية للنظام البيئى، فإن تحت الأنظمة البيئية Ecolocial Subsystems تمدنا بخدمات أو سلع طبيعية كما أسلفنا الذكر وبصفة عامة يمكن تمييز أربع أشكال من الوظائف أو الخدمات الطبيعية التى يمدنا بها النظام البيئى:

- **وظائف تنظيمية Regulation Functions:**

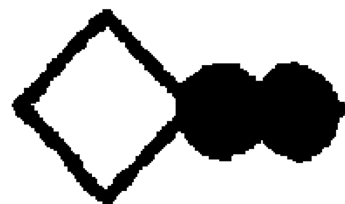
وهى وظائف تتعلق بقدرة الأنظمة البيئية على تنظيم العمليات البيئية الأساسية ونظم دعم الحياة life support systems. وتلك نتائج طبيعية للتفاعلات البيئية والتى تعتبر حجر الزاوية لجميع الأنظمة الحية على الكرة الأرضية.

**وظائف حمل Carrier Functions** : وتتعلق بإمكانية النظام البيئى على إمدادنا بالفراغ والأرضية المناسبة للأنشطة البشرية مثل السكن والنقل والتخلص من المخلفات والراحة والاستجمام والاتصالات وغيرها.

**وظائف إنتاجية Proudction Functions**: وتتعلق بإمداد النظام البيئى للبشر بالمصادر الطبيعية ومنتجاتها والإنتاجية تمثل بصفة عامة فى الإمداد بالمصادر الطبيعية والمصادر البيولوجية والمصادر الزراعية، وعموما فإن الأغذية البشرية والصناعة تعتمد على تلك الوظائف.

**وظائف معلوماتية information Functions**: ويمكن تعريف الوظائف المعلوماتية على أنها انسياب أو حركة المعلومات بين المجتمع والطبيعة وتأثيراتها حيث ذكر (de Groot 1992) إن «الأنظمة البيئية الطبيعية تساهم فى الحفاظ على الصحة العقلية للجنس البشرى بما تقدمه من فرص لإنماء الفكر والتأمل الدينى والإدراك والخبرات الجمالية».

هذه الوظائف تتمثل فى حركة المعلومات بين المجتمع البشرى والطبيعة. إن الأنظمة الطبيعية هى العامل الرئيسى لاستمرار العقل البشرى حيث إن البيئة هى مصدر الإلهام البشرى والحس الدينى ونمو إدراك البشر للبحث عن أصل وحقيقه الوجود وراء الطبيعة.





**جدول (٥): بعض الوظائف الطبيعية natural function ومنظومات مختلفة فى سياق الإدارة والتخطيط للمحيط البيئى ، عن**

(Bouma, 1972; Maeral and Dauverlier, 1978; Fink, 1987; Marks et al., 1989, de Groot, 199; Müller, 1998a).

| منظور اقتصادى | منظور بيئى | منظور تخطيطى | منفعة بحرية |
|---|---|---|---|
| **استهلاك عام:**<br>- الهواء.<br>- المناظر الطبيعية.<br>- الرفاهية. | **وظائف إنتاجية:**<br>- غذاء.<br>- مواد خام.<br>- طاقة مائية.<br>- عناصر جديدة. | **وظائف إنتاجية:**<br>- مكونات غير حية.<br>- زراعة. | **وظائف إنتاجية:**<br>- طاقة.<br>- مياه.<br>- كتلة حية |
| **مصادر طبيعية:**<br>- الماء.<br>- الإشعاع الشمسى.<br>- المعادن.<br>- الأكسجين. | **وظائف نفعية:**<br>- تعليم.<br>- صحة.<br>- ترفيه.<br>- فنون. | **وظائف حمل (نقل)**<br>- أنشطة سكانية.<br>- أنشطة زراعية.<br>- أنشطة صناعية.<br>- امتصاص مخلفات. | **وظائف مسطحات طبيعية:**<br>- تنظيم درجة الحرارة<br>- تنظيم المياه.<br>- نمو التتابع البيئى. |
| **استقبال المخلفات:**<br>- $CO_2$.<br>- $SO_2$.<br>- مخلفات. | **وظائف علمية:**<br>- تخزين المعلومات.<br>- الأبحاث. | **وظائف معلوماتية:**<br>- بحث.<br>- تعليم. | **وظائف جمالية:**<br>- تأثيرات نفسية.<br>- تنوع. |
| **إمداد بالمساحات:**<br>- صناعة.<br>- زراعة.<br>- إسكان.<br>- بنية تحتية. | **وظائف بيئية:**<br>- حفظ الجينات.<br>- إعادة تدوير المخلفات.<br>- إنتاج الأكسجين. | **وظائف تنظيمية:**<br>- تنقية.<br>- اتزان. | **وظائف بيئة بشرية:**<br>- وظائف أرصاد جوية.<br>- وظائف بيولوجية.<br>- ممارسة الرياضة. |

***جدول (٦): وظائف المحيط البيئي. عن (de Groot, 1992). تفاعل محلي، تفاعل إقليمي، تفاعل مستوى الكرة الأرضية الرمز (+) يشير إلى دور العنصر على المستوى المحلي أو الإقليمي أو على مستوى الكرة الأرضية***

| وظائف تنظمية | تفاعل محلي | تفاعل إقليمي | تفاعل على مستوى الكرة الأرضية |
|---|---|---|---|
| ١- حماية من التأثير الكوني. | − | − | + |
| ٢- تنظيم توازن الطاقة. | + | + | + |
| ٣- تنظيم كيميائي للغلاف الجوي. | − | − | + |
| ٤- تنظيم كيميائي للماء والمحيطات. | − | − | + |
| ٥- تنظيم الطقس والمناخ . | + | + | + |
| ٦- تنظيم جريان المياه ومنع الفيضانات. | + | + | + |
| ٧- تجمع المياه الجوفية. | − | + | − |
| ٨ - السيطرة على التآكل والترسب. | + | + | − |
| ٩- تنظيم خصوبة التربة. | + | + | + |
| ١٠- تنظيم انتاج الكتلة الحيوية. | + | + | + |
| ١١- تنظيم المادة العضوية. | + | + | + |
| ١٢- تنظيم الأنصبة الغذائية. | + | + | + |
| ١٣- تخزين المخلفات البشرية. | + | − | − |
| ١٤- التحكم البيولوجي. | + | + | + |
| ١٥- استمرارية الموائل والبيئات. | + | + | + |
| ١٦- استمرارية التنوع. | + | + | + |

| وظائف معلوماتية: | تفاعل محلى | تفاعل إقليمى | تفاعل على مستوى الكرة الأرضية |
|---|---|---|---|
| ١- معلومات جمالية. | + | + | – |
| ٢- معلومات روحية (دينية). | + | + | – |
| ٣- معلومات تاريخية. | + | – | – |
| ٤- معلومات تعليمية، علمية. | + | + | + |
| ٥- إلهام ثقافى. | + | + | – |
| **وظائف إنتاجية:** | | | |
| ١- الأكسجين | – | – | + |
| ٢- المياه للاستخدام الآدمى | + | + | – |
| ٣- الغذاء | + | + | + |
| ٤- المادة الوراثية | + | + | + |
| ٥- مواد طبية (دوائية) | + | – | – |
| ٦- مواد خام (إنتاج الملابس) | + | – | – |
| ٧- مواد خام للبناء وغيره | + | – | – |
| ٨- مواد بيوكيميائية | + | – | – |
| ٩- وقود وطاقة | + | – | – |
| ١٠- مخصبات | + | – | – |
| ١١- مصادر للزينة | + | – | – |
| **وظائف حمل (نقل):** | | | |
| ١- استيطان بشرى. | + | + | + |
| ٢- زراعة. | + | + | + |
| ٣- حفظ الطاقة. | + | + | + |
| ٤- الراحة والاستجمام والسياحة. | + | + | + |
| ٥- حماية الطبيعة. | + | + | + |

## ٥- التنمية المستدامة ووظائف النظام البيئى

**Ecosystem Functions and Sustainable Development:**

الأصل فى التنمية المستدامة أنها استراتيجية بشرية فى إطار فلسفة أن الإنسان هو محور الحيـاة وأهم الموجودات على الإطلاق. ولتحقيق أهداف الاسـتدامة فإن المبدأ الرئيسى هو حمـاية المصادر الطبيعية، أو فى عبارة أخـرى حماية أنظمة دعم الحياة Life Support Systems من أجل مستقبل البـشرية وتجنب المخاطرة بمصالح الإنسان وما حـققه من إنجازات حضارية، ومن ثم فـإن متطلبات التنمية المسـتدامة هى فى الأصل والجـوهر متطلبـات بيئيـة، ومن أجل الحفـاظ على وظائف النظام البيئى أعطى علماء البيئة خصائص أو صفات عـامة للاستراتيجيات الواقعية للتنمية المستدامة وبعض تلك الخصائص أو الصفات يمكن تلخيصها فيما يلى:

### استراتيجيات على المدى الطويل Long Term Strategies:

يجب أن تكون استراتيجيات التنمية المستدامة طويلة الأمد حيث إن معدل أو زمن تأقلم النظام البيئى للتـغيرات التى يحدثها البشر أقل بكثيـر من معدل إحداث تلك التغيـرات، أو فى عبارة أخرى يمكن القـول بأن سرعة تأقلم الأنظمة البيـئية أقل بكثير من سرعة نمو التقنيات البـشرية، ومن ثم فإنه عند وضع الاستراتيجيات يجب الأخذ فى الاعتبار ضرورة تكيف الفترة الزمنيـة للتغيرات التى يحدثها البشر مع زمن العمليـات الطبيعيـة، فمثـلا إذا أزيلت من إحدى الغابات شجـرة واحدة يوميا من الأشجار المعمرة فهـذا يعنى أنه فى خلال عشر سنوات سوف يصبح عدد الأشجار التى تم قطعها ٣٦٥٠ شجرة. والسؤال الآن: هل يتم نمو نفس العدد من الأشجار لتـصل إلى نفس المرحلة فى خلال عشر سـنوات؟ وإذا حدث ذلك فهل يمكن أن يستعـيد النظام البيئى فى تلك الغابة حالتـه الأصلية وبنفس الصورة التى كان عليها قبل بداية عمليات قطع الأشجار؟





- **استراتيجيات متداخلة المحاور Interdisciplinary Staratigies:**

يجب وضع خلاصات الدراسات البيئية فى إطار موحد للتوصل إلى سبل الإدارة المستدامة للمحيط البيئى ويجب أيضا وضع العناصر الثقافية والاجتماعية والاقتصادية فى الاعتبار (راجع Judes, 1998).

- **استراتيجيات شمولية Holistic Stratigies:**

يجب أن تتعامل استراتيجيات التنمية المستدامة مع العلاقات بين الإنسان والطبيعة على اعتبار أنها كيانات وظيفة Functional Entities تتبع قوانين الأنظمة المفتوحة، ومن ثم فإنه يجب تطبيق تقنيات تحليل الأنظمة للتعامل مع تلك الوحدات الوظيفية، وهذا يعنى ضرورة أن تأخذ استراتيجيات التنمية المستدامة التأثيرات غير المباشرة ودرجة تعقيد النظام البيئى فى الاعتبار.

- **استراتيجيات واقعية Realistic Stratigies:**

من الضرورى تبصير صانعى القرار بالقيمة الفعلية للبيانات المتاحة ومدى صحتها حيث يجب إعطاء البيانات البيئية مع إيضاح لمدى الشك Uncertainity فى تلك البيانات كما يجب أيضاً إيضاح إمكانية وجود أخطاء فى طرق استنتاج الحقائق methodological أو الطرق الإحصائية المتبعة.

- **استراتيجيات موجهة من الطبيعة، Nature Oriented Stratigies:**

تبدى الطبيعة بصفاتها الوظيفية نموذجا جيدا للاستراتيجات المستدامة (Bossel,1998b) وقد أشرنا إلى تلك الحقيقة فى هذا الفصل، ومن ثم فإن تفاعلات النظام الطبيعى يمكن أن يسترشد بها حيال تفاعلات الإنسان وأنشطة الإدارة.

- **استراتيجيات معتمدة على النظريات Theory Based Stratigies:**

يجب أن نبنى استراتيجيات التنمية المستدامة على أسس نظرية سليمة ومتوازنة، ويجب تطبيق الجوانب المختلفة لعلوم النظام البيئى (راجع Muller et al., 1997a,b).





- مراجع مختارة:


**Bahg, C.G. 1990.** Major systems theories throughout the world. Behav. Sci. 1990,35: 79-101.

**Bossel, H. 1992.** Real-structure process description as the basis of understanding ecosystems and their development. Ecological Modelling 63:261-276.

**Bossel, H. 1998a.** Ecological orientors: Emergenve of basic orientors in evolutionary self-organization. In: Muller, F. and Leupelt, M. (eds). Eco targets, goal functions and orienters. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 19-33.

**Bossel, H. 1998b.** Ecosystems and society: Orientation for sustainable development. In: Muller, F. and Leupelt, M. (eds.) Eco targets, goal functions and orienters. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 366-380.

**Bouma, F. 1972.** Evaluatie van natuurfuncties. Verkenningen van het I.V.M,-VU, Series A, No.3, Amsterdam.

**Breckling, B. 1992.** Uniqueness of ecosystems versus generalizabilty and predictability in ecology. Ecological Modelling 63, 1-4:13-28.

**De Groot, R.S. 1992.** Functions of nature. Wolters-Noorhoff.

**Finke, L. 1987.** Okologische Potentiale als Element der Flachenhayshaltspolitik. ARL Forschungs-und Sitzungsberichte Bd. 173, 202-228.






**Gertberg, W. 1994.** Umwelt und menschliches Handeln, eine flux-bezogene, systemische Betrachtung anhand graphischer Modelle. Diss. Freising-Weihenstephan.

**Haber, W. 1995.** naturhaushalt. In: Handworterbuch der Raumplanung. Hannover, 661-663.

**Haase, G. 1991.** Theoretische und methodische Grundzuge der Interpretation. In: Haase, G. (Hrsg.) Naturraumerkundung und Lundnutzung. Leipzig.

**Janstsch, E. 1988.** Die Selbstorganisation des Universums. München.

**Jax, K., Vareschi, E. and Zauke, G.P. 1993.** entwicklung eines theoretischen konzepts zur okossystemforschung Wattenmeer. UBA-Textle 47/93 . Berlin.

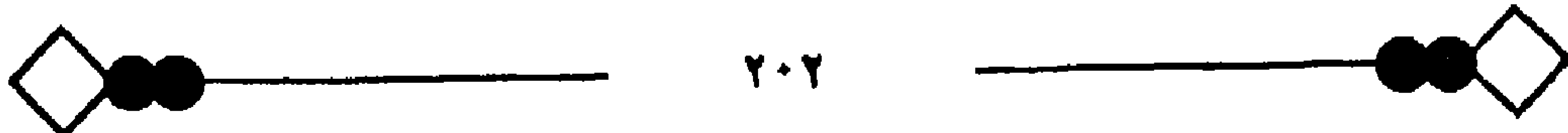
**Jüdes, U. 1998.** Human orientors: A system approach for trans-disciplinary communication of sustainable development by using goal functions. In. Müller, F. and Leupelt, M. (eds). Eco targets, geal functions and orientors. Springer. Berlin, Heidelberg, New York, 381-394.

**Leser, H. 1994.** Westermann-Lexikon Okologie und Umwelt. Braunschweig.

**Leser, H. 1995.** Landschaftsokologie. Stuttgart.

**Maarel, E. van der 1978.** Naar enn Glonaal Ecologisch Model (GEM) voor de Ruimtelijke Ontwikkling van Nederlan. Min. van Volkshuisv. En Ruimt. Ord., Den Haag.

**Maier, J., R. Paesler, K. Ruppert and F. Schaffer 1977.** Sozialgeographie. Braunschweig.



**Marks, R.; Müller, M. J.; Leser, H. and Klinik, H.J. 1989.** Anleitung zur Bewertung des Leistungsvermögens des Landschaftshaushalts. Forschungen zur deutschen Landeskunde. Band 229, Trier.

**Müller, F. 1992.** Hierarchical approaches to ecosystem theory. Ecological Modelling 63:215-242.

**Müller, F. 1996.** Ableitung von integrativen Indikatoren der Funktionalität von Ökosystem and Ökosystemkomplexen für die Beschreibung des Umweltzustandes im Rahmen der Umweltokonomischen Gesamtrechnugen (UGR). In: Statistisches Bundesamt (Hrsg.) Beitrage zu den Umwelokonomischen Gesamtrechnungen, Bd. 2 Wiesbaden.

**Muller, F. and Windhorst, W. 2000.** Ecosydtems as functional entities. In S. E. Jorgensen & F. Muller (eds.) Handbook of ecosystem theories and mangement. Pp:31-49-lewis pulishers. USA.

**Müller, F. 1998.** Gradients in ecological systems. Proceedings of the Eco-Summit 1996 in Copenhagen, Ecological Modelling 108: 3 - 21.

**Müller, F., B. Breckling, M. Bredemeier, V. Grimm, H. Malchow, S.N. Nielsen and E. W. Reiche 1997a.** Okosystemare Selbstorganisation. In: Franzle, O., F. Müller and W. Schroder (Hrsg.): Handbuch der Okosystemforschung Landsberg, Chapter III-2.4.





**Müller, F., B. Breekling, M. Bredemeier, V. Grimm, H. Malchow, S. N. Nielsen and E. W. Reiche 1997b.** Emergents Okosystemeigenschaften. In: Franzle, O., F. Müller and W. Schroder (Hrsg.): Handbuch der Okosystemforschung. Landsberg, Chapter III-2.5.

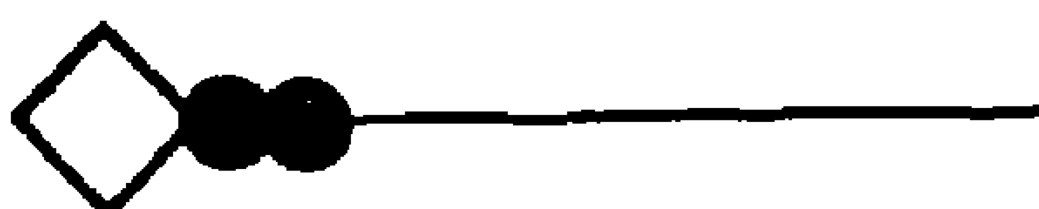
**Müller, F. & Windhorst, W. 2000.** Ecosystem as functional entities. In S.E.Jorgensen & F. Muller (eds.). Handbook of ecosystem theories and management. Pp. 33:99. Lewis Publishers, USA.

**Odum, H. T1983.** Systems ecology. An introduction. New York.

**Schaefer, M. 1992.** Worterbucher der Biologie. Okologie. Jena.

**Schwerdtfeger, F. 1975.** Synokologie. Okologie der Tiere, Bd. 3. Hamburg, Berlin.

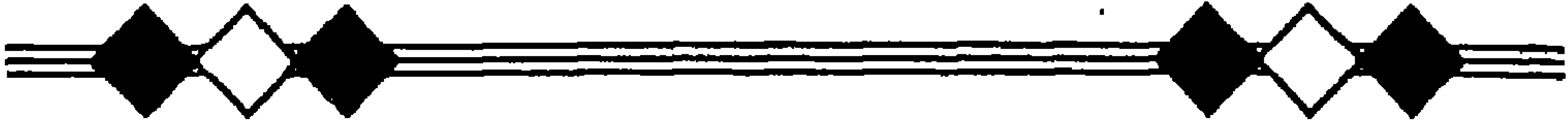
**Ulanowicz, R. E., 1998.** Network Orientors: Theoretical and Philosophical Considerations why Ecosystems may Exhibit a Propensitiy to Increase in Ascendency. Chap. 2.10 In: Muller, F. and Leupelt, M., (eds.) 1998.





# الفصل السابع

## معلوماتية النظام البيئى



- مقدمة.

١- مفهوم المعلومات والانتروبى فى نظرية المعلومات

٢- المعلومات والانظمة الاحيائية.

٣- التطبيق المباشر لنظرية المعلومات فى الانظمة البيئية.

٤- نظرية المعلوماتية والتنوع الاحيائى.

٥- ابحاث المعلوماتية والبنية التحتية للمعلومات الاحيائية.

- مراجع مختارة.

## مقدمة

تمتد جذور علوم نظريات الاتصالات أو المعلومات "Information Theory" or "Communication Theory" إلى الدراسات التى قدمها Hartley فى نهاية العشرينيات وCherry فى بداية الخمسينيات من القرن الماضى (Hartley, 1928; Cherry, 1951) حيث أشار الأخير إلى تاريخ نظرية المعلومات والتى اعتبرها امتداداً منطقيا لبحث المؤلف الأول (Hartley, 1928) عن نقل المعلومات. وبصفة عامة فإن علم المعلوماتية قد تم بناؤه على الأبحاث المقدمة من «شانون» و«شانون وويفر»، كما سوف يتضح لاحقا وكان ذلك فى منتصف القرن الماضى (Shanon, 1948; Shanon and Weaver, 1949). وقد قدمت نظرية المعلوماتية على أنها نظرية شمولية يمكن تفعيلها وتطويرها، وبالفعل نجحت النظرية فى اختراق عدد من مجالات العلوم البيولوجية وعلوم البيئة (Nielson, 2000). ويهدف هذا الفصل من الكتاب إلى إلقاء الضوء على النقاط التالية:

١) مفهوم وبدايات نظرية المعلومات والاتصالات.

٢) بعض تطبيقات نظرية المعلومات فى أفرع معينة من العلوم البيولوجية وتحديداً للتنوع الأحيائي وتطور الكائنات الحية، وقد أعطينا مقارنة لشرح بعض آليات التطور من خلال النظرية الكلاسيكية ونظرية المعلومات.

٣) التعامل مع مفهوم الأنتروبى فى نظرية المعلومات وعلوم البيئة والنظام البيئي.

٤) وأخيرا يجيب المؤلف على بعض التساؤلات بخصوص المعلوماتية الأحيائية والبنية التحتية للمعلوماتية الأحيائية ومعلوماتية النظام البيئى.

ويقدم هذا الفصل مراجعة لقائمة Bibliography تشتمل على أكثر من مائة مرجع عن أصول نظرية المعلومات وتطورها وتطبيقها فى مجال علوم الأحياء والأنظمة البيئية فيما يعرف بعلم المعلوماتية الأحيائية ومعلوماتية النظام البيئى.

## ١- مفهوم المعلومات والأنتروبى فى نظرية المعلومات:

يختلف استخدام لفظ «المعلومات» فى نظرية المعلومات عنه فى الحياة العادية مما يشكل عائقا فى فهم وتطبيق نظرية المعلومات، وقد أعطى (Nielsen, 2000) مثالا لتوضيح ذلك حيث ذكر أن أربعة أحرف إنجليزية (p, r, o, c) يمكن أن تعطى ٢٥٦ كلمة (٤)[٤] ومن جملة تلك الكلمات هناك كلمات قليلة سوف يكون لها معنى فى مفهومنا العام مثل كلمة «crop» أما باقى الكلمات الناتجة عن ٢٥٦ فقد ينظر لها على أنها عديمة المعنى أو أخطاء هجائية بالنسبة للمبرمج، ولكن من **وجهة نظر نظرية المعلومات فإن جميع الكلمات (٢٥٦) تتساوى فى مقدار ما تحتويه كل منها من معلومات، وبالتالى تتساوى كل تلك الكلمات فى الأهمية.**
ومن أهم نقاط الخلاف فى مفهوم شانون للمعلومات هو أن هذا المفهوم يتناظر مع مفهوم الأنتروبى Entropy فى الديناميكا الحرارية. مما أدى إلى حدوث الكثير من الخلط بين المفهومين، ولكن العديد من علماء وفلاسفة المعلوماتية يحاول إيضاح هذا الخلط لإزالة التداخل بين دلالة لفظ الأنتروبى Entropy فى الديناميكا الحرارية وعلوم الأنظمة البيئية وعلوم المعلوماتية، وبالعودة إلى معنى لفظ أنتروبى فى قاموس ويبستر (Webester's new twentieth century second Edition, 1979) ..... وجد أن لفظ أنتروبى يحمل الدلالات الآتية:

* **فى نظرية المعلوماتية وعلوم الكمبيوتر:** هو قياس لمحتوى المعلومات فى رسالة مقيمًا على أساس ما يحتويه من مستوى الشك، أى أن مقدار الأنتروبى يعتمد على تقييم محتوى الشك، فى رسالة أو محتوى.

"In information theory and computer science: entropy: a measure of the information content of a message evaluated as to its uncertainty".

* في علم الديناميكا الحرارية: الأنتروبى هو «مقياس» لكم الطاقة غير المتاحة لعمل شغل مفيد (يمكن قياسه) فى نظام يقع تحت تغير فى الطاقة.

"In thermodynamics: entropy: measure the amount of energy unavailable for useful work in system undergoing change".

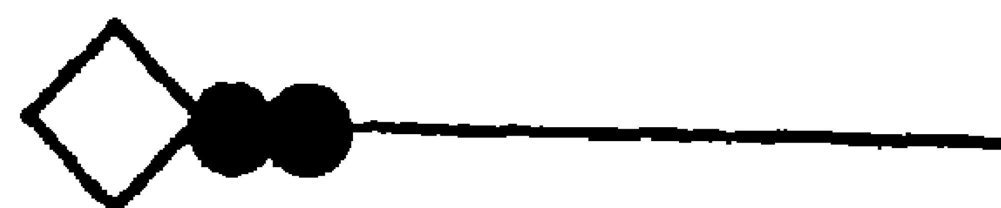
* فى قياس درجة الاضطراب فى مادة أو نظام: وهنا تتزايد الأنتروبى وتتقلص الطاقة المتاحة فى نظام مغلق مثل النظام الكونى.

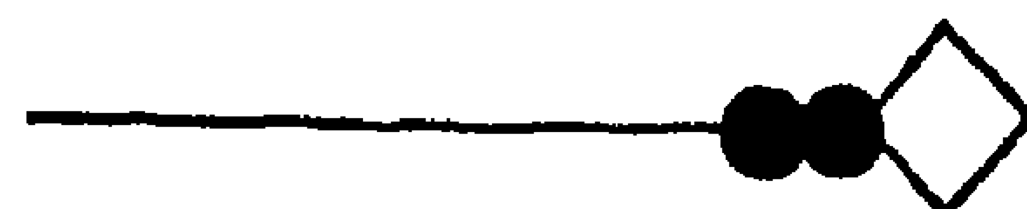
"A measure of the degree of disorder in a subtance or a system: Entropy increases as available energy diminishes in a closed system like the universe".

وبالرغم من ذلك فإن نظرية المعلومات لقيت تطبيقاً فى العديد من مجالات علم الأحياء، وعلى سبيل المثال البحوث المقدمة فى الخمسينيات من E.P; H.T. Odum وغيرهم، وسوف نعطى لاحقا أمثلة أخرى على تطبيق نظرية المعلومات فى قياس التنوع الحيوى وتحليل المادة الوراثية وتطور الكائنات الحية.

ومن ناحيه أخرى فإن مفهوم معلومات الديناميكا الحرارية Thermo-dynamical Information أصبح مرتبطا ارتباطاً واضحاً بالعناصر البيولوجية التى تكون الكائن الحى (الكربون - الهيدروچين - النتروجين - الأكسجين - الفوسفور - الكبريت) ((Morowitz, 1979 وراجع أيضاً Jorgensen, & Mejer, 1977; Mejer & Jorgensen, 1979: Jorgensen and Mejer, 1981; Ulanowicz, 1986, 1998; Nielsen 2000.

أ- بداية نظرية المعلومات: يرجع بداية ظهور نظرية المعلومات، كما نوهنا سابقاً، إلى شانون عام ١٩٤٨ (Shanon, 1948)، وفى العام التالى قدم شانون وويفر (Shanon & Weaver, 1949) أول مرجع فى الموضوع وهو مرجع بعنوان «النظرية الرياضية فى الاتصالات» Mathematical Theory of Communication.





ولكن الشيء الذى اعترض عليه العديد من العلماء هو إدخال لفظ "Entropy" (وقد أعطينا مفاهيمه سابقاً) فى المناقشة، وربما كان خلاف العديد من العلماء يرجع إلى أنه لا أحد يعلم على وجه التحديد ما هى الأنتروبى. وبصفة عامة فإن مفهوم المعلومات أو المعلوماتية قد نوقش فى العشرات من الأبحاث لمحاولة وضع لفظ المعلوماتية فى إطار ذى ماهية محددة، راجع (Chaitin, 1992; Stonier, 1990, 1992, 1997).

ب- **نظرية الاتصالات**: أوجد شانون عام ١٩٤٩ نظرية الاتصالات كعلم قائم بذاته (Shanon, 1949)، أما نظرية الاتصالات فقد أسسها ويفر وصيغت النظريتان فى الكتاب المذكور سابقاً (Shanon & Weaver, 1949).

وقد ذكر ويفر عام ١٩٤٩ أن هناك ثلاثة مستويات من مشاكل الاتصالات مرتبطة بعملية الاتصال (نقل المعلومات) وهى:

١- مشاكل تقنية (دقة الانتقال).

٢- مشاكل دلالات المعلومة (تفسير المعلومة).

٣- مشاكل تأثير المعلومة (نجاح المعلومة فى الوصول إلى المتلقى أو الهدف).

وقد عالجت نظرية شانون المستوى الأول حيث يرى شانون (Shanon, 1949) أن نظام الاتصال يتكون من خمسة أجزاء:

١) مصدر المعلومة أو الإشارة.

٢) الناقل (وسط انتقال المعلومة أو الإشارة).

٣) قناة الاتصال.

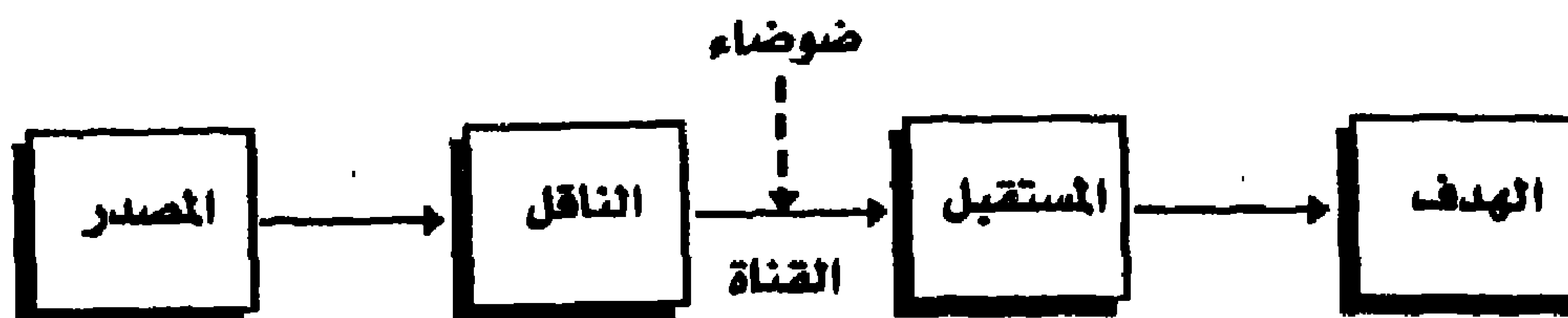
٤) المستقبل.

٥) نهاية الرحلة أو الهدف.





وقد تتعرض الإشارة إلى ضوضاء (Noise) أثناء انتقالها خلال قناة الاتصال ومن ثم يمكن أن تختلف الإشارة عند وصولها إلى الهدف عن الإشارة المرسلة. ويوضح الشكل التالى (شكل ١) تلك الخطوات عن(Nielsen, 2000).




(شكل ١)

وتتكون أى إشارة من تتابع من الرموز وقد تكون هذه الرموز أحرفا أو أرقاما. . . . إلخ. وتتكون رموز كل إشارة من عدد معين من مجموعة رموز ممكنة. وقد أوضح ويفر (Weaver, 1949) ذلك فى النقاط التالية:

* يختار مصدر المعلومات الرسالة المطلوبة من مجموعة رسائل ممكنة.

* ربط المعلومة فى نظرية المعلومات بما يمكن أن تعنيه أكثر من ارتباطها بمعنى محدد.

وأخيراً توصل شانون إلى الدالة H:

$$H = -K\sum_{i=1}^{n} P_i \log P_1 \text{.........................} (1)$$

والثابت K يشير إلى اختيار الوحدات.

- وذكر ويفر أنه:

* كلما زادت درجات الحرية (Degrees of Freedom) تعاظم معها مستوى الريبة Uncertainty وأيضاً كم المعلومات Information فى نفس الوقت، وتعاظم كم المعلومات مع ارتفاع مستوى الريبة قد يعنى فى ظاهره أن الضوضاء Noise تبدو مفيدة.

ومن خلال العبارة الأخيرة يكون ويفر قد لمس أحد المعضلات فى نظرية المعلومات (Neilsen, 2000) ولكنه أشار إلى هذا على أنه خدعة لفظية (Semantic trap) فى حال عدم تذكر تعريف المعلومات.

## ٢- المعلومات والأنظمة الأحيائية:

"Information and Biological Systems"

عرف (Morowitz, 1970) المحتوى المعلوماتي للرمز (Information Content of a Symbol) من خلال العلاقة:

$$I = \ln P_r - \ln_2 P_s \quad \text{.................} (2)$$

$$I = \ln \frac{P_r}{P_s} \quad \text{.................} (3)$$

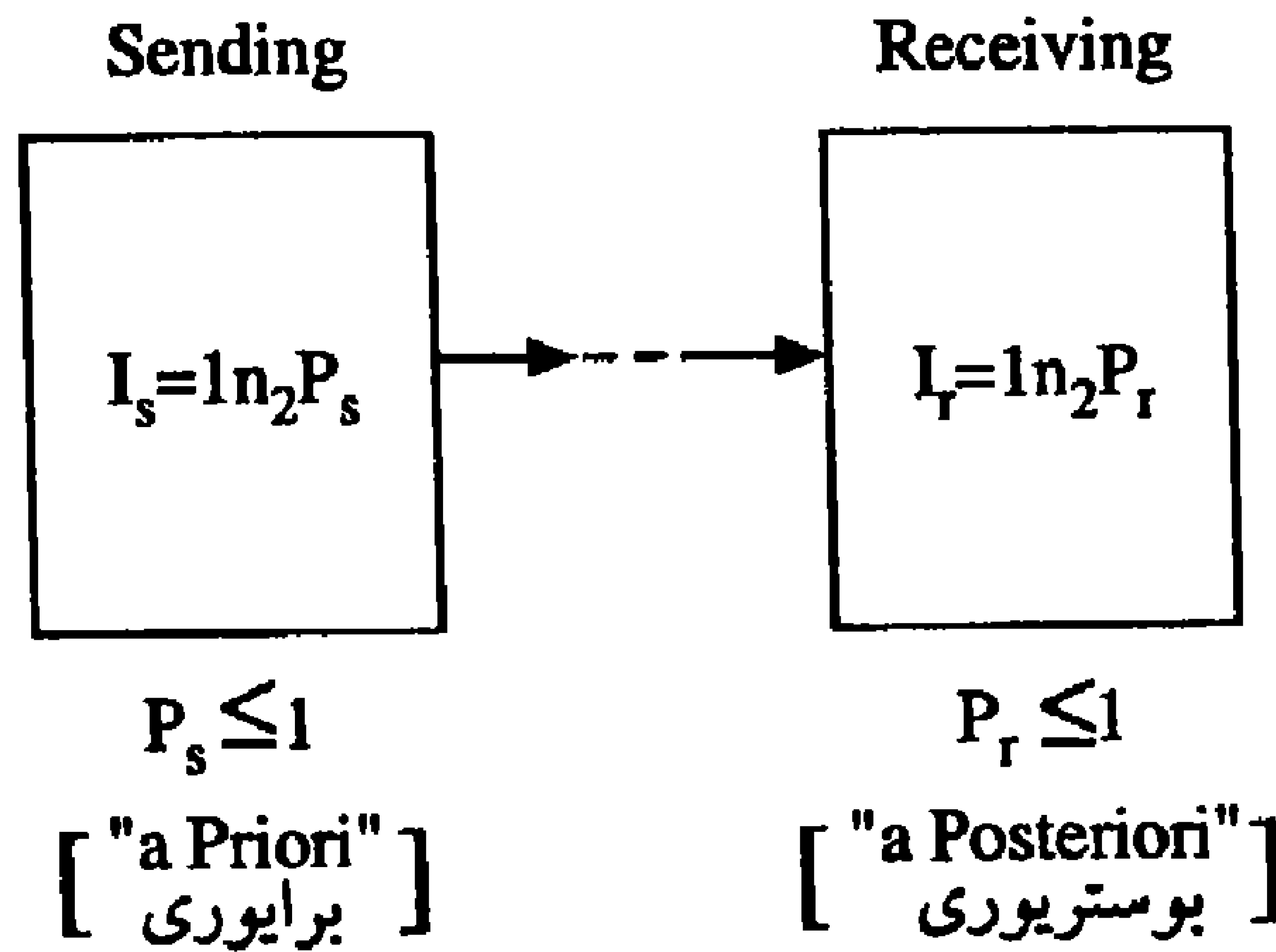
**حيث:**

$P_s$: احتمال إرسال الرمز.

$P_r$: احتمال استقبال الرمز بشكل صحيح.

وقد عبر (Nilsen, 2000) عن ذلك بالشكل التالي: (شكل ٢)

I: المحتوى المعلوماتي.




شكل (٢): العلاقة بين احتمالات إرسال برايورى (Priori-Ps) واحتمال تلقى أو استقبال بوستريورى (Posteriori, Pr) عن Nielsen, 2000.

ويمكن إعادة كتابة المعادلتين السابقتين(3 , 2) كما يلى:

$$I = -\ln P_s + \ln P_r \quad \text{.................} (4)$$





وحيث إن الاحتمالات أقل من أو تساوى الواحد الصحيح، وإذا افترضنا أن قناة الاتصال مثالية (بدون ضوضاء) فإن احتـمال استقبال الإشارة يساوى الوحدة، وبالتالى فإن معادلة (٤) تصبح:

$$I = -\ln_2 P_s \text{ ............ } (5)$$

وإذا كان عدد الرموز (n) فإن:

$$\sum_{i=1}^{n} P_i = 1 \text{ ............ } (6)$$

ويتتـابع من الرموز بطول N وإذا كان عـدد العناصر (i) وعدد حدوث كل منها $n_i$ واحتمال كل عنصر $P_i$، فيمكن حساب متوسط المعلومات $I_{av}$ كما يلى:

$$I_{av} = \sum_i \frac{n_i I_i}{N} = \sum_i \frac{n_i}{N}(-\ln_2 P_i) \text{ ............ } (7)$$

**وحيث إن**

$$I = -\ln_2 P_s$$

فيمكن كتابة معادلة (7) كما يلى:

$$I_{av} = \sum_i \frac{n_i}{N}(-\ln_2 P_i) \text{ ............ } (8)$$

ويمكن اختزالها إلى:

$$I_{av} = -\sum P_i \ln_2 P_i \text{ ............ } (9)$$

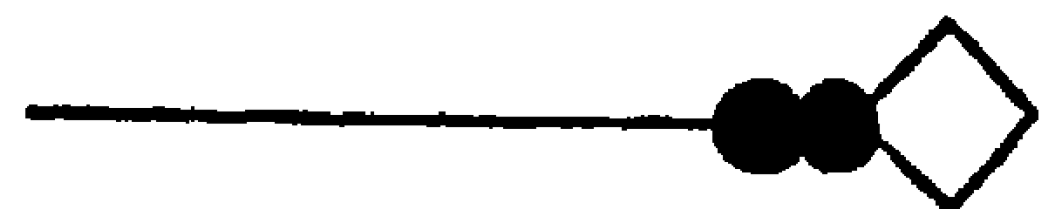
وقد أشار (Nielsen, 2000) إلى التشـابه الشديد بين مـعادلة (٩) ومـعادلة شانون (معادلة ١) وقد امتد هذا الاتجاه إلى الديناميكا الحرارية والإحصاء الفيزيائى حيث إن المحـتوى المعلوماتى لحـالة الكوانتم (Information State of a Quantum state) يمكن أن يعطى بالعلاقة:

$$I = -\sum f_j \ln f_j \text{ ............ } (10)$$

والعلاقـة السابقة مـشتقة بشكل مـباشر من العـلاقة (9) (Nielson, 2000) وأخيرا وطبقا للمؤلف السابق، فإن دالة الأنتروبى اشتقت لتصبح:

$$S = -K\sum f_j \ln f_j \text{ ............ } (11)$$





حيث:

$$S = 0.6932KI$$

وهنا نجد الصلة بين الأنتروبى والمعلوماتية ولكن، وكما أشار Nelsen عام 2000:

**[إن المعادلات (٣-٥) تظهر الفرق بين مفهوم المعلومات فى الحياة العادية ونظرية المعلومات، فإذا كان احتمال إرسال رمز هو أعلى احتمال ($Ps = 1$)، أو أن الرمز تم استقباله بشكل صحيح تماماً، ($Pr = O$) فإن الرمز لا يضيف إلى المعلومات طبقا للمعادلة (٤)، ولكن الريبة فى إرسال الرمز ($P < 1$) والاستقبال غير التام $Pr < 1$ تقود إلى أن الرمز يؤدى إلى إضافة معلومة. هذا الواقع أحد أسباب صعوبة شرح نظرية المعلومات إلى الشخص غير المتخصص وأيضاً أحد الأسباب التى أدت إلى جدل المجتمع العلمى حول النظرية].** وسوف نلقى المزيد من الضوء حول هذا الموضوع لاحقاً.

## ٣-٠ التطبيق المباشر لنظرية المعلومات فى الأنظمة البيئية:

### أ- التنوع الأحيائى

تم تطبيق العلاقة رقم (١) لقياس درجة التنوع الحيوى للمجتمعات الأحيائية، ويوضح جدول (١) تطبيق معادلة شانون ويفر كمؤشر للتنوع، وفى هذه الحالة تستخدم المتغيرات كما يلى(El-Shazly and Shahpa, 2004):

$$H^1 = -\sum_{i=1}^{s} P_i \log_e P_i \quad \text{.........} \quad (12)$$

حيث:

مؤشر التنوع: $H^1$

نسبة النوع فى عينة مكونة من عدد "S" نوع وتزداد درجة تنوع المجتمع "H" كلما كانت نسبة عدد الأفراد مقاربة للأنواع المختلفة فى المجتمع.



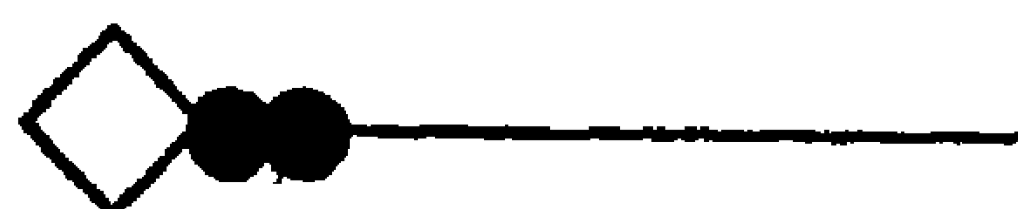


والجداول رقم (١) يوضح تطبيق نموذج شانون في المعلوماتية لقياس مستوى التنوع الحيوى فى أحد المجتمعات.

***جدول (١): مقاييس التنوع لمجتمع احيائى مكون من ٦ انواع من النطاط (حشرات مستقيمة الأجنحة (على مدار العام).***

| المؤشر / الشهر | سيمبون | هيل | شانون للتنوع | شانون للتوزيع |
|---|---|---|---|---|
| يونيو | ٠,٢٢٤ | ٠,٣١٣ | ١,٦٤٨ | ٠,٩٢ |
| يوليو | ٠,٢٥٧ | ٠,٣٧٣ | ١,٥٣٥ | ٠,٨٥٧ |
| أغسطس | ٠,٢١٣ | ٠,٣٠٥ | ١,٦٤٣ | ٠,٩١٧ |
| سبتمبر | ٠,١٩١ | ٠,٢٧١ | ١,٧١٢ | ٠,٩٥٥ |
| أكتوبر | ٠,٢٠١ | ٠,٢٩٢ | ١,٦٧١ | ٠,٩٣٣ |
| نوفمبر | ٠,٢٤٧ | ٠,٤٠١ | ١,٤٦٣ | ٠,٩٠٩ |
| ديسمبر | ٠,٢٧٢ | ٠,٤٧٣ | ١,٤٠٤ | ٠,٨٧٢ |
| يناير | ٠,٣١٢ | ٠,٥٢٨ | ١,٣٢٧ | ٠,٨٢٥ |
| فبراير | ٠,٣٣٩ | ٠,٦٢ | ١,٢٤ | ٠,٧٧١ |
| مارس | ٠,٢٣٤ | ٠,٤١١ | ١,٤٣٢ | ٠,٧٩٩ |
| أبريل | ٠,١٩٨ | ٠,٣١٣ | ١,٦٠٧ | ٠,٨٩٧ |
| مايو | ٠,١٨١ | ٠,٢٥٩ | ١,٧٤٦ | ٠,٩٧٤ |

(El-Shazly and Shahpa, 2004).





### ب- التطور

ينظر إلى تطور الكائنات الحية على أن الكائنات الحية تتطور عبر الوقت والمكان، فيمكن النظر إلى الكائنات الحية على أنها أنظمة أحيائية تنشأ وتتطور مكونة من عناصر كيميائية، فالأنظمة الأحيائية (الكائنات الحية) تتحرك فى اتجاه تطور في التركيب ومن ثم تركيب أرقى، وبعبارة أخرى يتحرك تطور الكائنات الحية تجاه زيادة تعقيد تركيب الكائن الحى، وبالتالى زيادة كم المعلومات التى يحويها.

وحاول العديد من العلماء صياغة نظرية التطور بلغة المعلومات -مثال: (Kupper, 1990) وسوف نقدم هنا مقارنة بين النظرية الكلاسيكية للتطور وبعض الاتجاهات التى تحاول صياغة نظرية للتطور بلغة المعلوماتية.

#### النظرية الكلاسيكية للتطور:

كيف ينشأ التباين: How Variation Originates

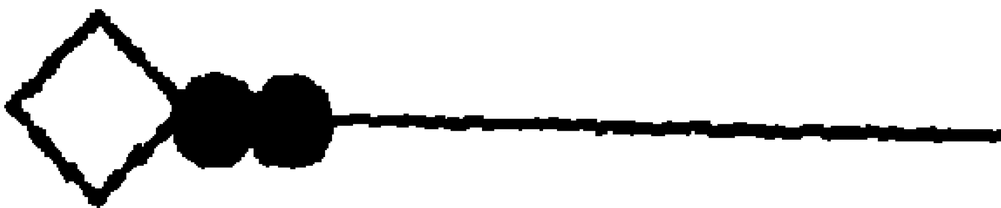
يؤثر التباين الوراثى على التنوع فى صفات الأهلات. تتكون المادة الوراثية فى جميع الكائنات الحية (باستثناء الفيروسات التى تتكون فيها المادة الوراثية من حامض نووى ريبوزى - (RNA) من حامض نووى دى أوكس ريبوزى Deoxyribonucleic acid - DNA. ويوجد هذا الحامض النووى فى أوليات النواة Prokaryotes على شكل كروموسوم واحد دائرى، أما فى حقيقيات النواة Eukaryotes فإن الحامض النووى ينتظم على الكروموسومات بداخل نواة الخلية. بعض الأخطاء قد تحدث عند تضاعف المادة الوراثية DNA أثناء عملية الانقسام الاختزالى لتكوين الأمشاج، وهذه الأخطاء (الطفرات) تعتبر مصدرا من مصادر التنوع الوراثى.

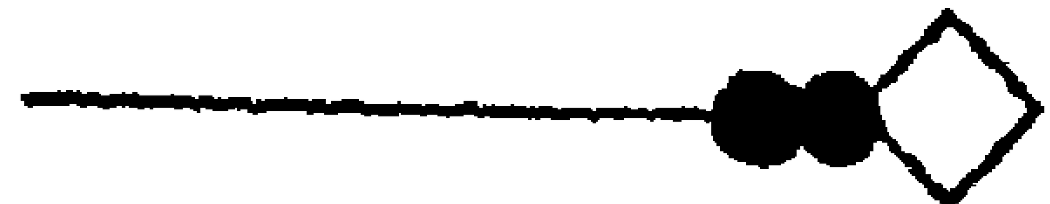
إن الزيادة فى التنوع الوراثى تحدث أساسا نتيجة الطفرات Mutations أثناء نسخ المادة الوراثية، ويوجد نوعان من الطفرات: الطفرات الجينية Gene or point mutations (وهذه الطفرات تضيف إلى المحتوى الجينى أو الصفات الوراثية).

وطفرات الكروموسومات Chromosome mutations (وهى هامة فى إعادة ترتيب الجينات على الكرومـوسوم بشكل جديـد مما يؤثر على الصفات الوراثيـة). وتجدر الإشارة إلى أن أكـثر الطفـرات تؤدى إلى فقدان صـلاحية الكائـن الحى وأن تأثير الطفرات يعد تأثيرا عشوائيا، ومن النـادر أن يؤدى هذا التأثير العشوائى إلى تحسين صفات الكائن وزيادة القدرة على التكيف.

**الطفرات الجينية Point (Gene) mutations**

تنشأ الطفـرة نتيجـة خطأ فى نسخ المادة الوراثية DNA ويفترض أن أغـلبية الطفرات الجينية يتضمن تغيرا فى تتابع قواعد النيوكليوتيدات Nucleotides التى يتم التـزاوج بينها لتـكون اللولب المزدوج من الحامـض النووى. وهذه القواعـد هى: الأدينين (A)، الثايمين (T)، الجوانين (G)، والسيتوزين (C)، ويؤدى التغير فى تتابع هذه النيوكليوتيدات إلى تغير فى الشـفرة الوراثية التى يبنى على أساسها تتابع الأحماض النووية أثناء تخليق البـروتين. وعلى سبيل المثال إذا تغير تـتابع القواعد من GAA إلى GUA فسـوف يؤدى ذلك إلى إحلال الحامض الأمينى فـالين محل حـامض الجلوتاميك، وسـوف يؤدى هذا التـغيـر بدوره إلى الطفرة المؤدية لحـالة الأنيميا المنجليـة فى الإنسان كنتيجة طبيـعية لتغير الشفـرة الوراثية، وتجدر الإشارة إلى أن نسبة ٢٤٪ من حالات التغير فى الشفرة الوراثية لا تؤدى إلى تغير فى تتابع الأحمـاض الأمينيـة، وبالتالـى لا تؤثر على الطراز المظهرى (والسـبب فى هذا أن الشـفرة الوراثيـة ثلاثية، ومـن المعروف أن عـدد الشفـرات الوراثية «٦٤» وعـدد الأحماض الأمينية «٢٠») ومن ثم فإن بعض الأحـماض الأمينية يمكن الاستدلال عليها بأكثر من شفرة وراثية. وبالتالى (فإن التغير فى الشفرة الوراثية قد يؤدى عن طريق الصدفة إلى شـفرة مختلفـة فى قواعدها ولكنها تستـدل على نفس الحامض الأمينى). والشفرة الوراثـية ثابتة فى جميع الكائنات الحيـة سواء كانت من أوليات النواة أو من حقيقيات النواة. تتكون الجينات من العديد من تتابعات القواعد وعلى سبـيل المثال نجد أن الجين المسئول عن تخليق الكولوجـين فى الدجاج يتكون من ٤٠٠٠٠ قاعـدة مزدوجـة Base Pairs ويبلغ طوله ٤٠ كـيلو قـاعـدى (الكيلو





القاعدى "Kilobase" عبارة عن ألف قاعدة متتالية). ويختلف حجم المحتوى الجينى فى الكائنات الحية إذ يتراوح بين أقل من ٤٠٠ قاعدة مزدوجة فى بعض الفيروسات وأكثر من ١٠^١١ قاعدة مزدوجة فى بعض النباتات الوعائية. وقد قدر أن المحتوى الجينى للثدييات يكفى لأن يكون شفرات وراثية لأكثر من ٣٠٠٠٠٠ جين، أما فى ذبابة الفاكهة فإن المحتوى الجينى يعادل حوالى ١٠٠٠٠٠ جين. أمكن التعرف على ١٠٠٠٠ جين فقط منها. وبناء على هذا فإن أكثر المادة الوراثية عبارة عن تتابع للشفرات الوراثية مجهولة الوظيفة[١].

بالرغم من إمكانية زيادة معدل الطفرات بشكل مصطنع عن طريق تعريض الكائن الحى للأشعة أو المواد الكيميائية إلا أن هذا لا يحدث فى الطبيعة إلا نادراً (عادة من خلال الأشعة الكونية الضعيفة)، وبالرغم من ذلك فقد وجد أن الطفرات الجينية تحدث بمعدل طفرة واحدة تحدث فى أحد مواضع الجينات لكل ١٠٠٠٠٠ خلية تناسلية، وتحتوى خلية الكائنات الراقية على ١٠٠٠٠ موضوع جينى على الأقل وبالتالى فإنه يمكن استنتاج أن ١٠٪ من أفراد هذه الكائنات تحمل طفرة جديدة فى أحد مواضع الجينات. وبالطبع فإن أكثر هذه الطفرات ضارة وتحدث بالصدفة، حيث إن عدد الطفرات النافعة أو المفيدة لا يتجاوز طفرة واحدة لكل ١٠٠٠ طفرة، وبالتالى فإن فردا واحدا بين كل ١٠٠٠٠ فرد يحمل طفرة مفيدة فى كل جيل، وفى الواقع فإن كل فرد فى ذبابة الفاكهة ونبات الذرة والإنسان يحمل على الأقل طفرة واحدة (بديل وراثى واحد) غير طبيعية. بعض هذه الطفرات ينشأ أثناء حياة الفرد والبعض الآخر يرثه من الآباء.

وإذا ما قدرنا ١٠٠ مليون فرد لكل جيل وافترضنا أن عدد الأجيال هو ٥٠٠٠٠ جيل على مدى التاريخ التطورى لكل نوع فمن الممكن أن نتوقع ٥٠٠ مليون طفرة مفيدة على مدى تاريخ تطور النوع، وقدر عدد الطفرات اللازمة لتحول نوع إلى نوع آخر بحوالى ٥٠٠ طفرة فقط. ومن ثم فإن طفرة واحدة من كل مليون طفرة من الطفرات المفيدة التى تحدث فى أحد الأنواع تكفى لإعطاء

(١) طبقاً لنظرية المعلومات، يمكن اعتبار تتابع الشفرات مجهولة الوظيفة «معلومات كامنة» كما سيأتى على الصفحات التالية (نظرية المعلوماتية والتنوع الأحيائى).

الأساس الوراثى لمعدل تطور هذا النوع، ومن هنا يتضح أن العامل الرئيسى الذى يحد من معدلات التغير ليس معدل الطفرات، ولكنه تركيب الصبغيات وإعادة ترتيب الجينات على الصبغيات لإعادة الترتيب الأصلى. وقد اتفق بعض العلماء بناء على شواهد جيدة على أن الانحراف الوراثى Genetic Drift يكفى لإحداث تغيرات وراثية فى نوع تعداد أفراده أقل من ٥ مليون (ولكن هذا العدد أكثر من تعداد آهلات الكثير من الثدييات). وقد أثبت علماء التطور رياضيًا أن موت فردين من الخيول (عن طريق الانتخاب) من بين مليون فرد لكل جيل يكفى لشرح تطور أسنان الحصان عبر التاريخ التطورى لهذا النوع.

**الطفرات الصبغية Chromosome mutations:**

لا تؤدى الطفرات الصبغية عادة إلى زيادة أو نقص تنوع المجمع الجينى Gene Pool ولكنها تؤدى فقط إلى إعادة ترتيبه (أى المجمع الجينى). فبعد أن تتم عملية الانتخاب الطبيعى تحدث بعض الطفرات الصبغية لإعادة ترتيب الجينات بشكل يحافظ على استمرارية الآهلات.

تتعرض الصبغيات (الكروموسومات) لأربعة أنواع من الطفرات تؤثر على ترتيب الجينات على الصبغى، وهذه الطفرات هى فقد جزء من الصبغى Deletion، تضاعف الصبغى Duplication، نقل الجينات Translocation، تغير موضع الجينات Inversion. ولا تؤدى تلك الطفرات إلى تغيير ترتيب ازدواج القواعد النتروجينية على الجينات ولكن إلى تغير ترتيب الجينات على الصبغى.

غالبا ما يؤدى فقد جزء من الصبغى Deletion إلى طفرات مميتة إلا فى حالة وجود العديد من أزواج الجينات المشابهة لجينات الجزء المفقود كما فى الكثير من الكائنات الراقية.

قد يحدث فقد جزء من صبغى وإضافة هذا الجزء إلى الصبغى المناظر أثناء عملية العبور Crossing over (وتتم عملية العبور أثناء عملية الانقسام الاختزالى لتكوين الأمشاج حيث يتم تبادل أجزاء الصبغيات بين الصبغيات المتماثلة "Homologous Chromosomes" بعد تكوين ما يعرف بالرباعى "Tetrad"). وهذا التغير يمكن أن يكون مفيدا حيث إن الصبغى الذى يضاف إليه جزء يساعد



على تخليق كم أكثر من الإنزيمـات، فعلى سبيل المثال يزداد إنزيم المونوفـوسفاتيز Monophosphatase في الخمـيرة نتيجـة طفرة صبغـية معينة ويسـاعد هذا الإنزيم عمل خلايا الخميرة على الاستمرار في بيئة فقيرة في الفوسفات.

تحـدث طفرات نقـل موضع الجـين Inversion عندمـا يكسـر الصبـغى فى موضعين، ويتم الالتحام فى موضـعين يختلفان عن الوضع الأصلى فيختل ترتيب الجـينات عـلى الصبـغى وربما يحـدث هـذا الكـسر فى الطـور الاسـتـوائى الأول Prophase من أطوار انقسـام الخلية حـيث تنحنى الصيـغيات فـى هذا الطور. أما طفرات انتقـال الجينات Translocation فتـحدث نتيجـة تبادل المادة الصبغـية بين صبغيات غير متناظرة Non Homologous Chromosomes.

الطفرات الجينية والصـبغية تسبب غالبية الاخـتلافات الوراثية فى الآهلات. لكن توجـد ميكـانيكيات أخـرى لإحـداث التنوع الوراثي وسوف نـذكر بعـضهـا باختـصار. فى حالة حـدوث خلل فى الانقسام المـيزوى الأول ينشأ مـشيج ثنائى (زوجى) العدد الصبغى 2n Diploid (الأصل فى الانقسام الميوزى هو إنتاج أمشاج أحادية «فردية» العدد الصبغى "n" حيث يتحد المشيج الذكرى "n" بالمشيج الأنثوى "n" لتكوين زيجوت ثنائى العدد الصبغى "2n"؛ وتنشأ حالة المشيج الزوجى "2n" نتيجة عدم تكـون الجدار الفاصل بين الخليتين البنويتين بعد تضـاعف الصبغيات). وعند اتحاد المشيج زوجى العـدد الصبغى Diploid مع مشيج طبـيعى (فردى العدد الصبغى) Haploid ينشأ عن ذلك تكوين زيجوت ثلاثى العـدد الصبغى 3n Triploid. وإذا تمكن الفرد الناتج من زيجـوت ثلاثى العدد الصبغى من الحيـاة فسوف يصبح فردا عقـيما، ومن ناحية أخرى إذا اتحـد مشيجان زوجيا الـعدد الصبغى 2n فـسوف ينشـأ عن ذلك زيجـوت رباعى العـدد الصبـغى 4n، والفرد الناشئ من الزيجوت رباعى العدد الصبغى يمكن أن يتناسل وينتج ذرية. وتحدث هذه الظاهرة فى بعض النباتات، وتتمـيز النباتات متعددة الأعداد الصـبغية Tetraploidy بالقوة وكبـر الحجم عن النباتات ثـنائية العدد الصـبغى (أى الأفراد الطبـيعيـة). وتحدث حالات نادرة من كائنات رباعية العدد الصبغى Tetraploid فى الحيوانات التى تقوم بعمليـة التكاثر البكرى Parthenogenesis (حـيوانات تلد إناثهـا ذرية من الإناث بدون تلقيح) مثل الإربيان من نوع *Artemia salina* (نوع من القشريات ينتمى إلى

رتبة ثمانية الأقدام) الذى يوجد بين أفراده بعض الأفراد رباعية العدد الصبغى وخماسية العدد الصبغى Pentaploid وثمانية Octaploid وحتى عشرية العدد الصبغى Decaploid.

والسؤال المطروح الآن ما هو حجم التغيير المطلوب فى المادة الوراثية (الحامض النووى - DNA) أو حجم المحتوى الجينى الكلى Genome أو تركيب الصبغيات لإحداث نشوء النوع Speciation؟ للإجابة: لا توجد علاقة بسيطة فعلى سبيل المثال يوجد نوعان من الغزلان من نفس الجنس وهما *Muntiacus re-vesi, M. muntjac* وهذان النوعان يختلفان اختلافا تاما فى عدد الصبغيات حيث تحتوى خلايا النوع الأول على ٤٦ صبغى (2n = 46) بينما تحوى خلايا النوع الثانى على ٦ صبغيات فقط 2n = 6 (El-Shazly, 2000).

## ٤- نظرية المعلوماتية والتنوع الأحيائى

### أ- التطور عبارة عن إنتروبى:

تم تجاوز النظريات الكلاسيكية لشرح ميكانيكية التطور فى الثمانينيات، وأصبح ينظر إلى تفسير آليات التطور من خلال نظريات الديناميكا الحرارية ونظرية المعلومات من خلال سلسلة أبحاث Brooks and Wiley فى الثمانينيات، ومن ثم فإنه يمكن فهم التطور على أنه ظاهرة غير «عكسية» «وغير متزنة».

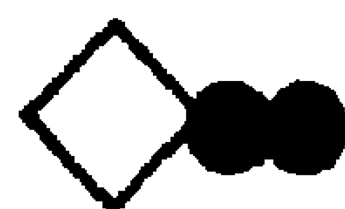
(Brooks and Wiley, 1986; Brooks et al., 1984, 1989; Wiley and Brooks, 1982, 1983).

**فى الطبيعة يمكن أن نفرق بين نوعين من العمليات:**

١) عملية تلقائية Spontaneous وتحدث بدون إدخال طاقة من الخارج.

٢) عملية غير تلقائية تحتاج إلى إضافة طاقة خارجية إلى النظام.

وينطوى القانون الثانى للديناميكا الحرارية على أن عمليات تحول صور الطاقة لا تحدث تلقائيًا ما لم يحدث اضمحلال فى الطاقة من صورة غير عشوائية إلى صورة عشوائية، أو من شكل مركز إلى شكل أكثر انتشاراً. وفى عبارة أخرى







يمكن القول بأن أى تحول لصورة من الطاقة إلى صورة أخرى يشتمل على خفض فى صورة للطاقة مثل تحول طاقة الوضع إلى طاقة حرارية. وتقاس جودة الطاقة بالأنتروبى (Entropy) (جودة عالية = أنتروبى منخفض). ويمكن تفسير القانون الثانى على أن حركة الزمن غير عكسية وفى اتجاه زيادة الأنتروبى أو يمكن أيضاً تفسير القانون الثانى على أن جميع العمليات «غير العكسية»، وإذا أردنا أن نعيد عملية إلى الاتجاه المعاكس، فإن ذلك يتطلب إضافة طاقة، وفى الواقع فإن الكوارث البيئية عبارة عن كوارث أنتروبى من وجهة النظر الفيزيائية، وعلى سبيل المثال، تزداد الأنتروبى بانتشار الملوثات فى الجو (Jorgensen, 2000).

بالعودة إلى العبارة الأولى «التطور ظاهرة غير عكسية وغير متزنة» يمكن فهم التطور على أنه ظاهرة ثرموديناميكية حيث إن نشوء الأنواع من نوع واحد يعنى أن النوع يعمل كنظام ديناميكى حرارى مفتوح بلغة الطاقة ومغلق جزئيا من حيث المعلومات والتماسك Information and cohesion.

ويمكن تعريف المعلومات فى هذا المقام على أنها «أى شىء ينتقل من مصدر إلى مستقبل خلال قناة»، والمعلومات هنا تؤدى إلى وجود برنامج لكائن حى. وهذا المفهوم يقع فى إطار نظرية المعلومات ويقترب من مفهوم شانون الذى نوهنا عنه سابقاً.

وقد اتفق علماء التطور على أن نشوء الأنواع Speciation «هو تطور التنوع الحيوى فى مجموعة» وهو نتيجة أن النوع يعمل كنظام طاقة مفتوح من الناحية الديناميكية الحرارية ولكنه مغلق كليا أو جزئيا من جهة المعلومات والتماسك.

ويمكن تحديد المعلومات فى نطاق تعريف النوع على أنها «أى شىء ينتقل من مصدر إلى مستقبل خلال قناة اتصال» على سبيل المثال انتقال المعلومات الوراثية من الذكر إلى الأنثى عن طريق الحيوان المنوى فى التزاوج وانتقال المعلومات من الأنثى إلى الفرد الجديد الناشئ من عملية التزاوج. وهنا فإن المعلومات يمكن أن تعطى برنامجاً لخلق شكل بيولوجى وكائن حى ذى صفات وراثية محددة.





ويمكن أن تنقسم المعلومات الجينية (الصفات الوراثية التى يحملها الجين) إلى قسمين طبقاً إلى (Nielsen, 2000) : «معلومات مختزنة» (Stored Information) وذلك هو الجزء من المعلومات الوراثية التى يعبر عنها الكائن الحى أثناء فترة حياته «ومعلومات كامنة» Potential Information وهى معلومات وراثية توجد فى الكائن الحى ولكن لا يعبر عنها أثناء حياته.

ذكر (Denbigh, 1975) أن زيادة المعلومات فى أى نظام بيولوجى تزيد من كم الأنتروبى.

وعند تحول كم من المعلومات الكامنة (معلومات وراثية لا تترجم أثناء حياة الكائن الحى) عند أقل قيمة لمستوى الأنتروبى إلى معلومات مختزنة (معلومات وراثية تترجم أثناء حياة الكائن الحى) سوف يزيد مستوى الأنتروبى فى النوع أى أن كم الأنتروبى فى الأنواع المعاصرة أكبر من كم الأنتروبى فى أسلافها التى تطورت عنها نتيجة تحول كم من المعلومات الوراثية الكامنة فى الأسلاف إلى معلومات وراثية مخزونة:

$$S_p \leq S_a < S_{a+p} \quad \text{.......................} \quad (13)$$

حيث:

$S_p$: حالة الأنتروبى فى أسلاف النظام النوعى وهى أقل من أو تساوى....

$S_a$: حالة الأنتروبى الناتجة فى النظام المنحدر وهى أقل من أو تساوى.....

$S_{a+p}$: حاله النظام بعد إضافة كم من المعلومات الوراثية الكامنة إلى المعلومات الوراثية المختزنة. (مؤدية إلى نشوء النوع أو النظام البيولوجى الجديد).

وفى محاولة لربط المعالجة المعلوماتية بالديناميكا الحرارية، فإن جهد الطاقة الحرة (Free - Energy F) يمكن التعبير عنه من خلال

$$F = E - TS \quad \text{.......................} \quad (14)$$

ويمكن أيضاً ترتيب المعادلة السابقة كما يلى:

$$S = \frac{E - F}{T} \quad \text{.......................} \quad (15)$$

حيث: تمثل E الطاقة الداخلية للمنظومة.



حيث تمثل والقـيمة (S) ترتبط بفقـد الترتيب وزيادة العشوائيـة وبخصوص المعلومات يمكن صياغة المعادلتين السابقتين كما يلى:

$I_f = I_i - CS$ ........................................ (16)

حيث:

$I_f =$ المعلومات المتاحة (Free Information)

Ii = المعلومات الذاتية أو (الداخلية) (Intrinsic Information)

C = الترابط (Cohesion)

ويمكن صياغة المعادلة السابقة كما يلى:

$CS = I_i - I_f$ ........................................ (17)

حيث CS هى أنتروبى التماسك (حاصل ضرب "C" × "S")

وقد أمكن أيضاً صياغة نموذج لوصف التطور فى الكائنات الحية كما يلى:

$$E = \frac{dS_i + dS_c + dS_e}{dt}$$ ........................................ (18)

حيث:

E: التطور

$dS_i$: التغير فى مستوى الأنتروبى للمعلومات

$dS_c$: التغير فى مستوى الأنتروبى للتماسك

$dS_e$: التـغيـر فى مسـتـوى الأنتروبى للطاقـة

والمعادلة السابقة تمثل ملخصا لنشوء الحياة والتنوع البيولوجى.

وقد أعطى (Nielsen, 2000) علاقه أخرى لفهم العمليات التطورية فى المادة الوراثية للكائن الحى كما يلى:

$H_{max} = \log_2 A$ ........................................ (19)

عدد الحالات المتاحة للكود الوراثى (أقل سعة للشفرة الوراثية) =A

أقصى سعة ممكنة للشفرة أو الكود الوراثى = $H_{max}$

ويمكن الآن صياغة الدالة المعلوماتية لشانون كما يلى:

$$H_{obs} = -\Sigma P_i \log_2 P_i \quad \text{.................} \quad (20)$$

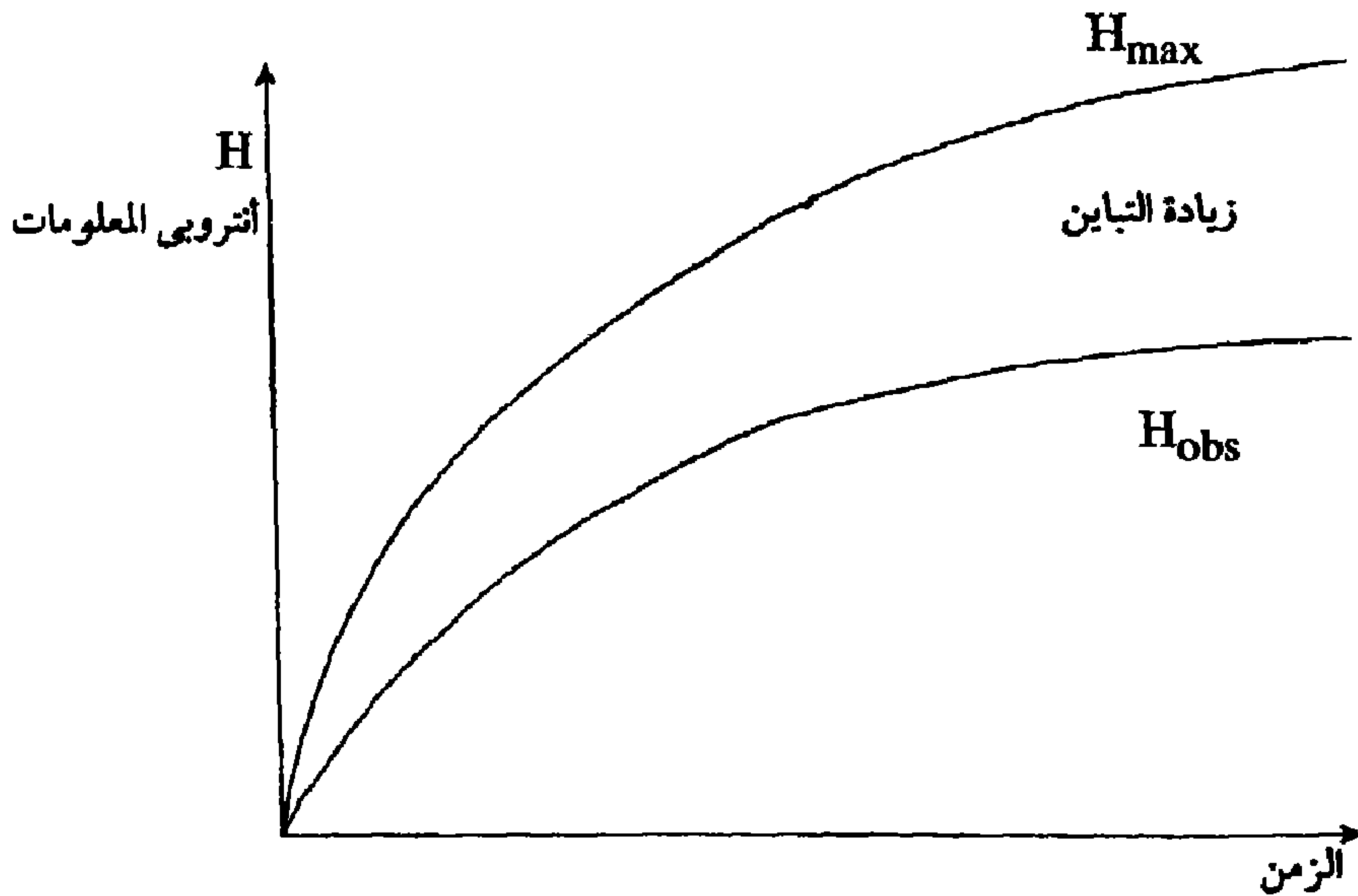
ويلاحظ أن نفس الدالة هى التى استخدمت فى قياس التنوع الحيوى ولكن فى حالة التطور يمكن اعتبار Pi كما يلى:

**Pi**: احتمال كائن حى مختار عشوائيا يحمل نمطا جينيا محددا.

وتجدر الإشارة إلى أنه أثناء عملية التطور لا تستخدم السعة الكاملة (جميع المعلومات الوراثية) للجينوم حيث إن الوقت لا يمكن أن يكون متاحا لعرض الكائن الحى لجميع الطاقة الوراثية المختزنة والكامنة ومن ثم فإن:

$$H_{obs} < H_{max} \quad \text{.................} \quad (21)$$

ويمكن توضيح تلك الحقيقة فى الشكل التالى(شكل ٣) عن (Nielsen, 2000).




**(شكل ٣): الشفرة أو طاقة المعلومات للجينوم ويلاحظ أن القيمة المشاهدة ($H_{obs}$) تزداد أثناء زمن التطور نتيجة إضافة واتساع تعبير المادة الوراثية والرقم المشاهد ($H_{obs}$) أقل دائما من الحد الأقصى($H_{max}$) وتزداد الفجوة مع الزمن.**

وقد تم استخدام نظرية المعلومات بكثافة فى دراسة وتحليل الجزيئات العضوية الكبيـرة مثل البروتينات ودراسة الوراثـة الجزيئية من خـلال تحليل الحامض النووى DNA، ومن أمثلة الأبحاث الشهيرة فى هذا المجال:

Chanl et al., 1992; Matsuno, 1983; Monet, 1993; Pattee, 1979; Strait and Dewey, 1996; Tsukamoto, 1979.

**ب- نظرية المعلومات والوراثة:**

ولكن التطبيق الفعلى لنـظرية المعلومات فى الوراثة يعـتبـر حديـثا نسـبيًا والسبب فى ذلك يرجع إلى أن اكـتشاف تركيب الجـينوم الذى يتكون من تتابع من نيوكلوسيدات (Nicleosides). حيث وجـد أن الجين عبارة عن تتـابع من الرموز (رموز مـعلوماتية)، والنيـوكلوسيدات الأربع هى: أدينين - ثايمـين - جوانين - سيتـوزين. وهى تكون شفرة وراثية ثلاثيـة وأخيرا تترجم الشـفرة إلى بروتينات، ومن المعـروف أن البـروتينات تتكون من تتـابع من الأحـمـاض الأمينـية. وعـدد الأحماض الأمينية المكونة لجميع أنواع البروتينات هى ٢٠ حامض أمينى، وتختلف أنواع البروتينات تبعـا لتتابع وعدد الأحمـاض الأمينية فى سلسلة عديد البيـبتايد، ويمكن تشبيـه العشرين حامضـا أمينيا بحروف لغة تتكون كلـماتها من بروتينات، وبعبارة أخرى فإن عدد أربع قواعد (أدنين، سـيتوزين، تايمين، جوانين) وعشرين حامضا يعطى تتابع الأحـماض الأمينية يمكن اعتباره مقيـاساً للمعلومات. وحيث إن البـروتينات تتكون من أحـماض أمـينية تصـل إلى ٢٠ نوعا فـإن عدد أمـينى الحالات الصغرى Microstates فى تتابع من النيوكلوسيـدات أو الأحماض الأمينية يستخدم كمقياس للمعلومات، وباستخدام معادلة Boltzman كمثال نجد أن الجينوم أو الجين الذى يحـتوى على ٣٠٠ نيـوكليتيـدة نجد أن العـدد الممكن من الحالات الصغرى Microstates كما يلى:

$$W_{\text{(نوكليتدات)}} = 4^{300}$$

أو يترجم إلى حالات صغرى من الأحماض الأمينية إلى :

$$W_{\text{(حمض أمينى)}} = 20^{100}$$

حيث : (W) تشير إلى العدد الممكن من الحالات الصغرى.

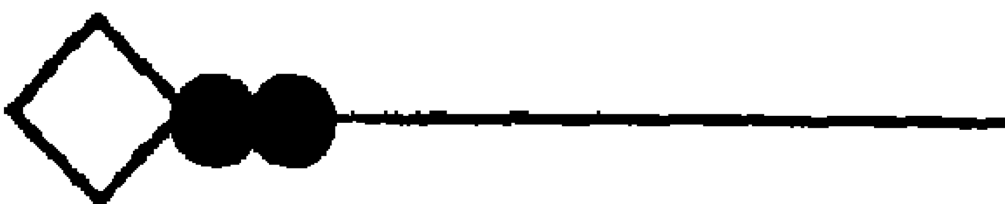
**المناقشة:**

هناك العديد من التساؤلات التى لابد من إيجاد إجابة عليها لاستيعاب نظرية المعلومات وعلاقتها بالعلوم البيولوجية، ومن بين تلك الأسئلة: هل يمكن أن توجد المعلومات بدون أن تنتقل؟ كيف يمكن التعامل مع تعيين الحالات الصغرى (Microstates)؟ هل يمكن تحديد معدل التبادل بين المعلومات والأنتروبى؟

نتيجه لأبحاث شانون وويفر تم الربط بين مفهوم المعلومات وعملية انتقال أو نفاذ المعلومات. يرى (Tribus, 1961; Tribus et al., 1966) أن المعلومات فئة من آليات الإحصاء أو الديناميكا الحرارية وليس العكس. تنفذ المعلومات فى المكان والزمان، والنفاذ أو الانتقال المكانى من وجهة نظرية المعلومات أقل أهمية، فالبرغم من وجود المعلومة فإنها تحتاج إلى وقت حتى يمكن إدراكها، وعموما فإن كم المعلومات المتحصل عليه أو المكتسب يرتبط بدرجات الحرية التى يتم اختيارها للنظام أو بعبارة أخرى يعتمد على قدرتنا التفسيرية.

إن تحديد عدد الحالات الصغرى Microstates الممكنة لنظام يعتمد إلى حد كبير على تحديد المحتوى المعلوماتى أو المعلومات التى يمكن اكتسابها، فكما ذكرنا سابقاً، الخيط الذى يحتوى على أربعة أحرف p, o, r , c يعطى عدد 256 من الكلمات أو الحالات الصغرى Microstates. ولكن إذا افترضنا أن كل حرف سوف يتكرر مرة واحدة فقط فسوف يكون عدد الحالات الصغرى (الكلمات) (Microstates) هو (4!) وهو ما يعادل (٢٤) حالة أو كلمة.

وعندما نضع فى الاعتبار درجات الاحتمالات المختلفة (Marginal probability, Joint probability, Conditional Probability) سوف نحصل على نتائج أخرى؛ وهذا يعنى أن نتائج الدراسة سوف تكون مختلفة بالرغم من أن الشىء تحت الدراسة لم يختلف، ولكن هذا يعتمد على كم البرايورى "Priori" المعروف لدينا قبل الدراسة؛ لأنه بالقطع سوف يؤثر على درجة المعلومات التى يمكن الحصول عليها من خلال تطبيق نماذج ونظريات المعلومات. فهل يمكن للباحث الذى ليس لديه أى معلومات عن النظام تحت الدراسة أن يكون قادرا على

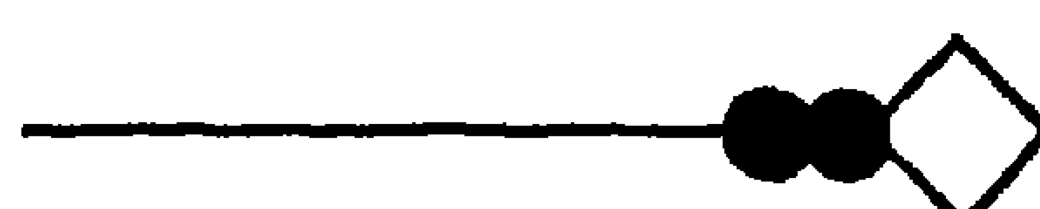




الاستفادة من المعلومات المتاحة من النظام نفسه؟ الإجابة لا، حيث يجب أن تتوافر بعض المعلومات عن الظاهرة قبل دراستها ومعرفة كم المعلومات الذى تحتويه. فى الواقع إن معلومات الباحث المسبقة تؤثر على كم المعلومات المستقبلة، ومن ثم فإن هناك اختلافا فرديا فى رصد كل ظاهرة على حدة. إن النقاش هنا قد يبدو فلسفيا أكثر منه تجريبى، ولكنه على درجة كبيرة من الأهمية للوصول إلى منهج موحد لتطبيق نظرية المعلومات مستقبلا (Nielsen, 2000) ومن ناحية أخرى عملية اختيار المرجع لتقييم المعلومة له أهمية فى الوصول إلى القيمة الفعلية للمعلومة.

**استنتاج:**

كما أوضحنا سابقا فإن مفهوم المعلومات وجد استعمالا وانتشاراً فى المراجع الحديثة، ولكن تطبيق مفهوم المعلومات لم يؤد إلى الوصول إلى توحيد مفهوم المعلومات كما كان متوقعا. ومن أهم أسباب ذلك أن استخدام المفهوم فى المجال العلمى يختلف عن فهمنا الدارج فى الحياة اليومية للفظ معلومات. وبعبارة أخرى فإن استخدامنا اليومي للفظ المعلومات يسبب عائقاً للاستخدام العلمى الدقيق للفظ المعلوماتية المستخدم فى المراجع العلمية، ومن ناحية أخرى فإن المجتمع العلمى لم يتعامل مع لفظ المعلومات بشكل موحد وثابت، وبالإضافة إلى ذلك، فإن استخدام مفهوم المعلومات فى المجالات العلمية المختلفة يبدى صعوبة استخلاص أن المجالات العلمية المختلفة اشتقت المفهوم من أصل واحد، وهناك كم هائل من الأبحاث فى مجال المعلومات مرتبط بجميع أفرع العلم وذلك الكم يتزايد يوميا وينتج عن ذلك صعوبة النظر إلى نظرية المعلوماتية بنظرة شمولية. وأخيرا فإن الوصول إلى توحيد وثبات استخدام نظرية المعلومات يتطلب المزيد من الجهد المشترك بين المختصين من العديد فى أفرع العلم للتوصل إلى برنامج أو أرضية واحدة لنظرية المعلومات للاستخدام المستقبلى (Nielsen,2000).





## ٥- أبحاث المعلوماتية والبنية التحتية للمعلوماتية الأحيائية:

### أ- البنية التحتية للمعلومات البيولوجية "Biological information in-frastructure" :

إن القرارات التى تخص تدبير وإدارة الموارد الطبيعية مواجهة وإدارة الأزمات غير المتوقعة والتى تقع خارج حدود التنبؤ فى مجالات الزراعة والصحة العامة والبيئة تحتاج إلى توافر قاعدة من البيانات والمعلومات البيولوجية التى يمكن الاعتماد عليها فى اتخاذ القرار لمواجهة تلك الأزمات، ومن ثم فإنه لا بد من إنشاء ونمو برامج البنية التحتية وأبحاث المعلوماتية الإحيائية والبيئة فى مصر، وهذا ما حدث بالفعل فى العديد من الدول المتقدمة، حيث تعتمد تلك البرامج على تطبيق أحدث ابتكارات تكنولوجيا المعلومات فى إدارة البيانات البيولوجية والبيئة. وبناء على تعريف قاموس ويستر للفظ «البنية التحتية» أمكن تعريف البنية التحتية للمعلوماتية الإحيائية على أنها : **«بوابة إلكترونية للبيانات والمعلومات الإحيائية المتوافرة لدى المنظمات والمؤسسات والمراكز وغيرها من الشركات العاملة فى مجال علوم الأحياء»**. فى هذا الفصل تم تقديم ملخص لنمو مفهوم المعلومات ونظرية المعلومات وبعض تطبيقاتها فى النظام البيئى، والآن سوف نحاول أن نجيب على التساؤلات الآتية:

١- هل يمكن أن تكون البنية التحتية لقاعدة معلومات بيولوجية وبيئية هى انطلاقة حقيقية لمستقبل المعلوماتية الإحيائية ومعلوماتية المحيط البيئى Environmental Informatics فى مصر وفى البلاد العربية؟

٢- هل من الضرورى إنشاء مركز مصرى (أو عربى) للمعلوماتية الإحيائية بالرغم من وجود مراكز مشابهة فى العديد من الدول الأكثر تقدمًا، وتلك المراكز مُتاحة على شبكة المعلومات الدولية؟

٣- ما هى الحدود الفاصلة بين البنية التحتية لقاعدة المعلومات البيولوجية وأبحاث المعلوماتية البيولوجية؟





يمكن تعريف البنية التحتية للمعلوماتية الإحيائية كما يلى:

«هى بوابة إلكترونيـة للبيانات والمعلومـات البيولوجـية المتاحة لدى الجـهات البحثية والحكومية والخاصة وغيرها من الشركاء على مستوى الدولة والعالم، حيث يعتمد نجاح البنية التحتية للمعلومـاتية البيولوجية على نمو شبكة المعلومات للشركاء الذين يضيفون إلى تلك المعلومات ويستـخدمونها». والنص الأصلى الذى استخدم بواسطة المركز الـقومى الأمريكى للمـعلوماتيـة البيولوجـية فى تعريف لـفظ البنية التحتية كما يلى:

*National Biological Information Infrastructure (NBII): is an electronic gateway to biological data and information maintained by federal, state, and local government agencies; private-sector organizations; and other partners around the nation and the world. The NBII is dedicated to the development of an electronic "federation" of biological data and information sources. Its success rests on a growing network of partners who share and use this information.*

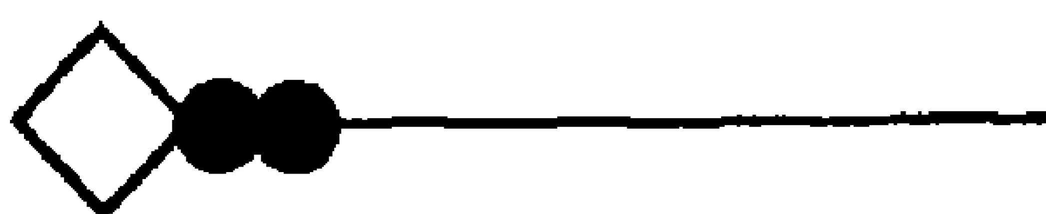
## ب- أبحاث المعلوماتية البيولوجية والمعلوماتية البيئية

**Research in biological and environmental informatics:**

تعتمد أبحاث المعلوماتية البيولوجيـة والبيئية على استخدام النماذج الرياضية واستغلال المعلومات البيولوجية والبيئية المتـاحة لمعالجة قضايا بيولوجية معاصرة مثل قاعدة البـيانات الوراثية أو التنبؤ بظواهر بيولـوجية وبيئية مـستقبلية مـثل معدلات انقراض الأنواع أو التغيرات الـبيئية المستقبلية من خـلال وضع نماذج رياضية تنبؤية predictive models، وأيضاً لاخـتبار الفرضـيات البيولوجـية test of hypothesis ولكى تكون تلك النماذج واقعية يجب أن تتوافر فيها ثلاثة شروط أساسية وهى:

١- الاعتماد على أكبر كم ممكن من المعلومات البيولوجية المتاحة.

٢- وضع جميع المتغيرات المحتملة فى الاعتبار.





٣- صياغة رياضية تعتمد على أحدث البرامج والإصدارات فى المجال المطلوب.

وتتضح تلك الشروط من خلال شبكة المعلوماتية البيولوجية الصادرة عن بضع دول متقدمة على سبيل المثال:

*Biological informatics research plans are expected to address important scientific questions in contemporary biology and include strong linkage between computer information and computational science and biology .*

http://sig.biostr.washigton.edu/projests/da .

**جـ- تأسيس البنية التحتية المعلوماتية البيولوجية ومعلوماتية البيئة:**

**Establishment of the biological informatics infrastructur :**

**سوف تتيح البنية التحتية للمعلوماتية الإحيائية ومعلوماتية النظام البيئى للباحث سهولة الحصول على المعلومات المتاحة عن المحتوى الجينى Genome للكائنات الحية المنتشرة فى الفونة المصرية والتى يتميز بأهمية طبية أو بيئية أو اقتصادية، كما يمكن للباحث الاطلاع على أحدث الإصدارات ومواقع الجهات العلمية المختلفة فى نقطة الدراسة المطلوبة** وتضاف إلى شبكات المعلومات البيولوجية الدولية، تتسع فيما بعد لتصبح شبكة قومية للمعلومات البيولوجية تشارك فيها جميع الجهات البحثية والأقسام العلمية الجامعية والكليات المتعلقة بالعلوم البيولوجية وعلوم البيئة فى مصر، ومع تنامى شبكة البنية التحتية المعلوماتية القومية سوف يتم وبشكل تلقائى، تعاون مع المركز المشابه فى الدول المتقدمة.

**وأخيرا يمكن أن نجيب على التساؤلات المطروحة كما يلى:**

١- هناك ضرورة لوجود بنية تحتية معلوماتية قوية للمعلومات الإحيائية والبيئية المتاحة لتيسير أبحاث المعلوماتية على المستوى المحلى وتشجيع أبحاث ذلك الفرع الذى يعتبر من العلوم المستقبلية.

٢- إن وجود مراكز مشابهة فى دول أخرى لا تعنى عدم السعى لإنشاء ذلك المركـز الوطنى، لأن الدول المتقـدمة لا تنشئ تلك المـراكز خدمـة لدول أخرى ولكن للتعاون العلمى بين مؤسسـاتها وفى صالح اقتصادها القومى ولكن ليس لديهـا مانع من التعـاون مع المراكز المشـابهة لمزيد من المنفـعة المتبادلة.

٣- من المناقشـة السابقة يتـضح أن قواعد البـيانات شىء مخـتلف تماماً عن أبحاث المـعلوماتيـة والتى تطبق نظريات المعلوماتيـة والديناميكـا الحرارية وغيرها من أفرع العلم للوصول إلى الحقائق البـيولوجية معتمدة على كم هائل من المعلومات الإحيـائية الذى يجب توافره من خلال البنى التحـتية لقواعد المعلومات.





**Aoki, I., 1993.** Inclusive Kullback indes-a macrpscopic meansure of ecological systems. Ecol. Modelling. 66: 289-299.

**Bateson, C., 1991.** And og nature, en nodveding enlied kosinate, 225 pages. (original title: Mind and Nature).

**Bendoricehio, C. and Jergensen, S. E., 1997.** Exergya as a goal function of ecosystems dynamic. Ecol. Modelling,102:5-15.

**Bookstein, F. L., 1983.** Comment on a"Nonequilibrun" Aplaoach to Exolution. Syst. Zool., 32 (3):291-300.

**Brillouin, L., 1949.** Life, Thermodynamics and Cybernetics Am. Sci, 37: 554-68. In: Leff, II. S. and Rex, A. F. (eds.), 1990. Entropy, information. Computing. Princetan Scries in Physies, 349 pages.

**Brooks, D. R. and Wiley, E. O., 1986.** Evolutions as Entropy (Ist edition) University of Chicago Press, 335 pages.

**Brooks, B. R. and Leblond, P. II. And Cumning, D. D. 1984.** Information and Entropy in a simple Evolution Model J. theor. Viol., 109:77-93.

**Brooks, D. R., Collier, J., Maurer, B. A. Smith, J. D. A. and Wiley, E. O., 1989.** entropy and information in Evolving Biological Systems. Biology and Philosophy:





**Buron, P. J., Balisky, A. C., Coward, I., P., Cumming, S. C. and Kneeshaw, D. D., 1992.** The yalue managing for biodiversity. The Forestry Chronicle. 68 (2) 225-237.

**Chaitin, G. J., 1966.** On the lengh of programs for computing Finite Binary Sequences. J. ACM 13:547-569.

**Chaitin, G. J., 1974a.** Information-Theoretic Computational Complexity. IEEE transactions of information theory, 20: 10-15.

**Chaitin, G. J., 1974b.** Information-Theoretic Limitations of Formal Systems. J. ACM 13:547-569.

**Chaittin, G. J., 1975.** Randomness and mathematical Proof. Sci. Am.,225(5):47-52.

**Chaitin, G. J., 1977.** Algorithmic Information Theory. IBM J. Res. Develop., 21: 350-359 .

**Chaitin, G. J., 1982.** Godels Therory. IBM J. Res. Develop., 21 (12): 941-954.

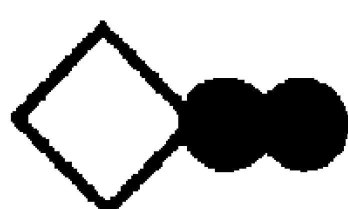
**Chaitin, G. J., 1992.** Information-Theroetic Incompleteness. Appl. Math. Comp. 52,83-101.

**Chan, S.C., Wong, K. C. and Chiu, D. K. Y., 1992.** A Survery of Multiple Sequence Comparison Methods. Bull. Math. Biol., 54(4): 563- 598.

**Cherry, E. C., 1951.** A History of the theory of information. Inst. Electric. Engin. Proceedings, 98(3): 383-393.

**Collier, J. 1986.** Envolution. Biology and Philosphy, 1:5-24 .

**Dale, M.B., 1971.** Validity and information thecoy in ecological research. Chap 2 in Nix, H.A., (ed.). Quanfiying Ecology. Proceddings of the Ecological Society of Australia, vol. 6.







**Denbigh, K., 1975.** An Inventive Universe. Hutchinson.

**Ebeling, W., 1991.** Chaos-Ordung Ingormation. Verlag Harri Deutsch, 118. pages.

**Ebeling, W. and Volkenstein, M. V., 1990.** Entropy and the Evolution of Biological information. Physica A., 163:298-402.

**Ebeling, W. and Feistel, R., 1992.** Theory of Selforganization and Evolution: The Role of Entropy, Value and Information. J. Non-Equilib. Thermodyn.,. 17: 303-332.

**Elsasser, W. M., 1983.** Biological of the Statisitcal Concepts Used in the Second Law. J. Theor. Biol.,. 105: 103-116.

**El-Shazly, M. M., 2000.** Principles of Insect Ecology (in arabic) Dar El-Fikr- Egypt.

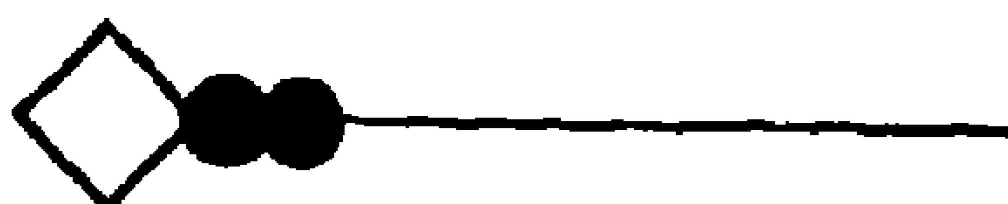
**El-Shazly, M. M. and Shapa M. W., 2004.** The structure and host plant selection of an acridid community on the edge between a dsert-and an-agroecosysem in Egypt. 4th Internation conference of Environmental Informatics, Canada.

**Emmeche, C., 1988.** Information i naturen. Nyt Nordisk Forlag, 161 pages.

**Emmeche, C., 1990.** Det Biologiske Informationsbegreb. Kimaere, 319 pages.

**Emmeche, C., 1991.** A Semiotical Reflection on Biology, Living Signs and Artificial Life. Biol. Phil., 6,325-340.

**Emmeche, C., 1998.** Defining life as a semiotic phenomenon. Cyberetics And Human Knowing, 5 (1): 3-17.





**Evans, R. B., 1969.** A prof that essergy is the only consistent measure of potential work for systems. Note: title changed during archiving to - work systems!).

**Evans, R. B., Crelling, G.L. and Tribus, M., 1966.** Thermo-economic Considerations of Sea Water Demineralization. Chapter 2, pages 21-76 In: Spiegler, K. S. (ed.). Principles of Desalination. Academic Press, 566 pages.

**Frautschi, S., 1988.** Entropy in an expanding Universe. Chapter 1 In: Weber, B. H., B. H. Depew, D. J. and Smith, J. D. (eds.) Entropy, Iformation, and Evolution. Bradford, MIT, 376 pages.

**Gatlin, L., 1972.** Information Theory and the Living System. Columbia University Press, CO.

**Goodmann, D., 1975.** The theory of diversity-stability relationships in ecology. Quart. Rev. Biol., 50(3), 237-266.

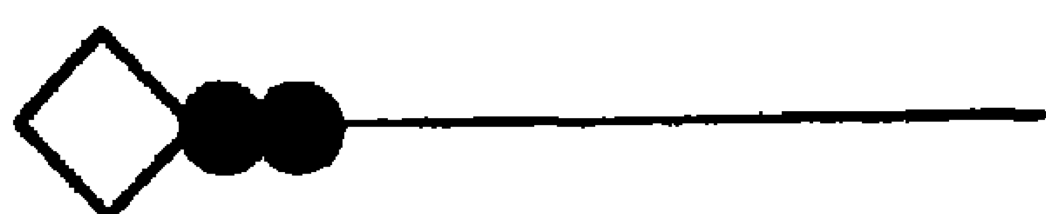
**Hartley, R. V. L., 1928.** Transmission of Information. The Bell System Tech. J.,. ٥٦٣-٥٣٥ : ٧

**Heredeen, R., 1989.** Energy intensity, residence time, exergy, and ascendancy in dynamic ecosystems. Ecol.Modelling, 48:19-48.

**Hinegardner, R. and Engelberg, J., 1983.** Bioplogical Complexity. J. Theor. Biol., 104:7-20.

**Hirata, H. and Ulanowicz, R. E. 1985.** Informational Theoretical Analysis of the Aggregation and Hierrachical Structure of Ecological Networks. J. theor Biol., 116:321-341.

**Ho, M. W. and Saunders, PT., 1979.** Beyond neo-Darwinsim-an epigenetic approqach to evolution. J. theor.Biol., 78,573-591.





**Hoffmeyer, J., 1993.** En snegl pa Vejen. Betydningens naturhistorie. Omverden, 227 pages. (Translated to English as: Signs of Meaning in the Universe, Indiana University Press).

**Hoffmeyer, J., 1997.** SHORTS. 40 artikler om Nature Videnskab og Liv. Munksgaard, Rosinante, 96 pages.

**Hons, P., 1991.** Study of the Dynamic of Nuterient Uptake by Plant Using the Method of Relative Information Entropy. Scientia agriculturae Bohemosiovaca, 23 (1),17-26.

**Jaynes, E. T., 1957a.** Information Theory and Statistical Mechanics. Phys. Rev., 106 (4): 620 - 630.

**Jaynes, E.T., 1957b.** Information Theory and Statistical Mechanics. II. Phys. Rev.,108 (2): 171- 190.

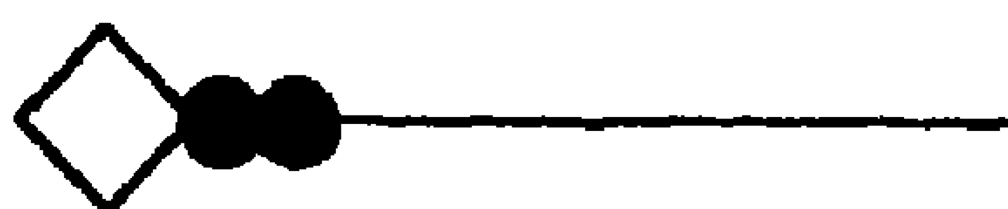
**Jaynes, E. T., 1962.** New Engineering Applications of Information Theory. Pages 163-203 In: Bogdanoff, J. L. and Kozin, F., (eds.): Proceedings of the First Symposium on Engineering Applications of random function theory and probability.

**Juhasz-Nagy, P. and Podani, J., 1983.** Information theory methods for the study of spatial processes and succession. Vegatatio, 51, 129- 140.

**Jorgensen, S. E. and Mejer, H., 1977.** Ecological Buffer Capacity. J. Ecol Modelling, 42:253-279.

**Jorgensen, S. E., 1997.** Integration of Ecosystem Theories: A Pattern (2nd rev. ed). Luwer, 388 pages.

**Jorgensen, S. E. 2000.** A general outline of thermodynamic approaches to ecosystem theory. in "Jorgensen, S. E. and F. Müller eds). Handbook of Ecosystem theories and management. Lewis publishers, Washington D.C.





**Jorgensen, S. E. and Mejer, H. F., 1981.** Exergy as key function in ecological models. Pages 587-590 In: Mitsch, W. J., Bosserman, R. W., and Klopatek, J. M., (eds). Energy and Ecological Modelling. Developments in Environmental modeling, I. Elsevier, 839 pages.

**Jorgensen, S. E., Nielsen, S. N., Mejer, H., 1995.** Emergy, environ, exergy and ecologigal modeling. Ecol. Modelling. 77:99-109.

**Karreman, G., 1955.** Topological Information Content and Chemical Reactions. Bull. Math. Bull. Math. Biophys., 17:279-285.

**Koestler, A., 1969.** Beyond atomism and holism-the concept of the holon. In: Koester, A and Smythies, J. R., (eds.) Byond reductionism. New perspectives in the life sciences. 192-232 pages.

**Kolmogorov, A. N., 1968.** Logical Basis for Information Theory and Probability Theory. IEEE transactions on information theory. IT-14(5) 66-2664.

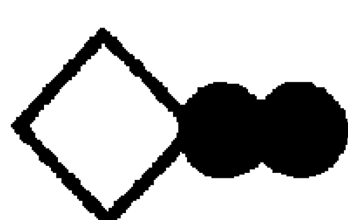
**Kubat, L. and Seeman, J. (eds.), 1975.** Entropy and Information in science and Philosophy. Elsevier, 260 pages.

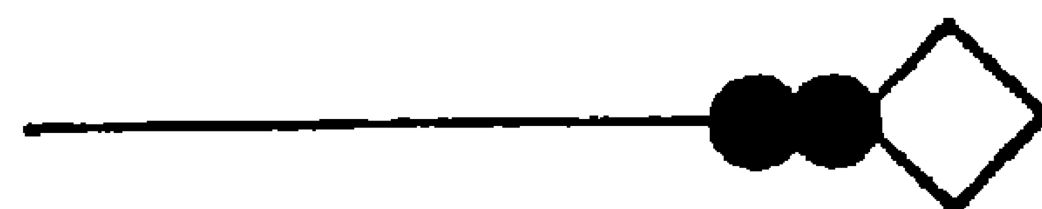
**Kullback, S., 1968 (1959).** Information Theory and Statistics. Dover Publications, 399 pages.

**Kuppers, B. O., 1990.** Information and the Origin of Life. MTT Press, 215 pages.

**Laxton, R. R., 1978.** The measure of Diversity. J. theor. Biol., 70, 51 - 67.

**Layzer, D., 1988.** Growth of Order in the Univeres. Chapter 2 In: Weber, B. H., Depew, D. J. and Smith, J. D. (eds.): Entropy,





Information, and Evalution. And Evolution. Bradford, MIT, 376 pages.

**Leff, H. S. and Rex, A. F. (eds.), 1990.** Entropy, Information, Computing. Princeton Series in Physics. 349 pages.

**Legendre, P. and Legendre, L., 1998.** Numerical Ecology, 2nd English edition. Development in Environmental Modelling 20. Elsevier, 853 pages.

**Levtrup, S., 1983.** Victims of Ambition: Comments on the Wiley and Brooks Approach to Evolution. Syst. Zool., 32 (1): 90-96.

**Martin-Lof, P., 1966.** The Definition of Random Dequences. Info. Control, 9,602 -619.

**Matsuno, K., 1983.** Evolutionary Changes in the Information Content of Polypeptides. J. Theor. Biol., 105:185-199.

**Mejer, H. and Jorgensen, S. E., 1979.** Exergy and Ecological Buffer Capacity. In: Jorgensen S.E. (ed) State-of-the-art in Ecological Modelling vol 7, 829-846.

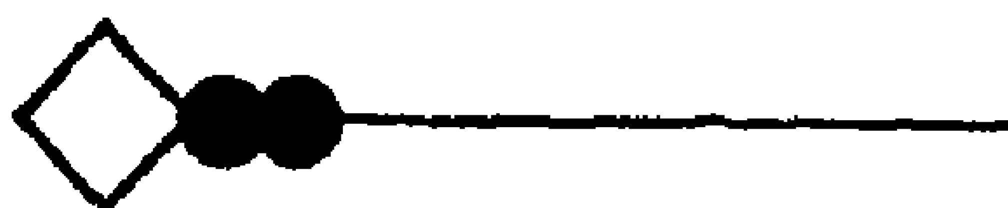
**Monet, R., 1993.** Quantification of a genetic Message in a Selection. Acta. Biothero., 41: 199-203.

**Morowitz, J. II., 1955.** Some Order-disorder Considerations in Living Systems. Bull. Math Biophys., 17:81-86.

**Morowitz, H.J., 1970.** Entropy for Biologists-An introdiction thermodynamics. Acadmic Press, 195 pages. (3rd printing, 1972).

**Morowitz, II.J., 1978.** Fundations of Bioenergetics. Academic Press, 344 pages.

**Morowitz, II.J., 1979.** Energy flow in biology. Ox Bow Press, 179 pages.





**Muller, F., Brecking, B., Bredemeier, M., Grimm, V, Malchow, II, Nielsen, S.N. and Reiche, E.W., 1996.** Emergente Ok-osystemeigenschaften. In: Franzle, O., Muller, F. and Schroder, W. (eds.). Handbuch der Olosystemforsching, Chap. III-25.

**Nielsen, S. N., 1992.** Application of maximum exergy in structural dynamic models. National Environmental Research Institute. 52 pages.

**Nielsen, S. N. 2000.** Ecosystem as information system: (In Jorgensen and Müller eds) "A handbook of Ecosystem theories and Management": 217-248, Lewis publishers, Londn, Washington, D. C.

**Papentin, F., 1980.** On Order and Complexity. I. General Considerations. J. Theor. Biol., 87:421-456.

**Papentin, F. 1982.** On Order and Complexity. II. Application to Chemical and Biological Structures. J. Theor. Biol., 95:225-245.

**Pattee, II. H., 1979.** The Complementarity Principle and the Origin of Macromolecular Information. BioSystems. 11:217-226.

**Phipps, M., 1981.** Entropy and Community Pattern Analysis. J. Theor. Biol. 93 253-273.

**Popper, K. R., 1979.** Die Subjektivistiche Theorie der Entropie. Chap 36 In: Augansagspunkte. Meine Intellekuelle Entwicklung. Hoffman und Campe.

**Prigogine, I. And Nicolis, G., 1971.** Biological order, structure and instabilities. Quart. Rev. Biophys., 4(2&3), 107-148.



**Prigogine, I. And Wiame, J. M., 1946.** Biologie et thermo-dynamique des phenomenes irreversibles. Experientia 2: 451-53.

**Rao, G. S., Hamid, z and Rao, J.S., 1979.** The Information Content of DNA and Evolution. J. Thero. Biol., 81:83-807.

**Rashevsky, N., 1955a.** Some Remarks on Tophological Biology. Bull. Math. Biophys.,. 17:207-218.

**Rashevsky, N., 1955 b.** Life, Information Theory, and Topology. Bull. Math. Biophys.,17:229-235.

**Renyi, A., 1970.** Chapter 9. Appendix. Introduction theory. In: Renyi, A. (ed) Probability theory. North-Holland.

**Ruch, E. and Lesche, B., 1978.** Information extent and distance. J. Chem. Phys., 69(1):393-401.

**Schrodinger, E. 1944.** What is life? Cambridge

**Shannon, C. E., 1948.** A Mathematical Theory Communication. Bell System Techn. J., 27(3):379-423.

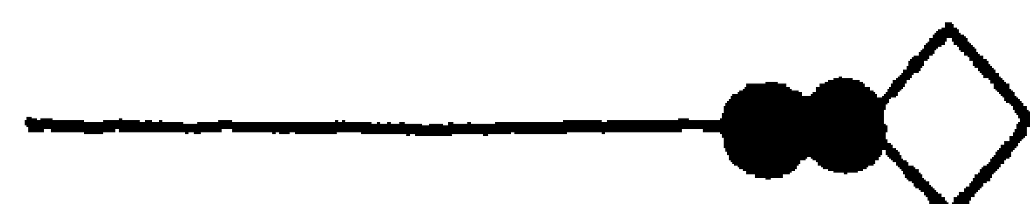
**Shannon, C. and Weaver, W., 1949.** The mathematical Theory of Communication. University of Illinois Press, 125 pages.

**Stonier, T., 1990a.** Information and the Intenall Structure of the Universe. Springer, London, New York. 155 pages.

**Stonier, T., 1990b.** Towards a new theory of Information. Telecommunications Policy, 10:278-281.

**Stonier, T., 1992.** Beyond Information. The natural history of Inteligence. Springer, London, New York. 221 pages.





**Stonier, T., 1997.** Information and Meaning. An Evolutionary Perspective. Springer, London, New York. 255 pages.

**Strait, B. J. and Dewey, T. G., 1996.** The Shannon Information Entropy of Protein Sequences. Biophys. J., 71:148-155.

**Szilard, L., 1929.** On the decrease of entropy in a thermodynamic system by the intervention of intelligent beings. In: Leff, H. S. and Rex, A. F. (eds.), 1990. Entropy. Information. Computing. Princeton Series in Physicas, 349 pages.

**Tribus, M., 1961.** Information Theroy as the Basis for Thermostatics. J. Appl. Mech., 28:1-8

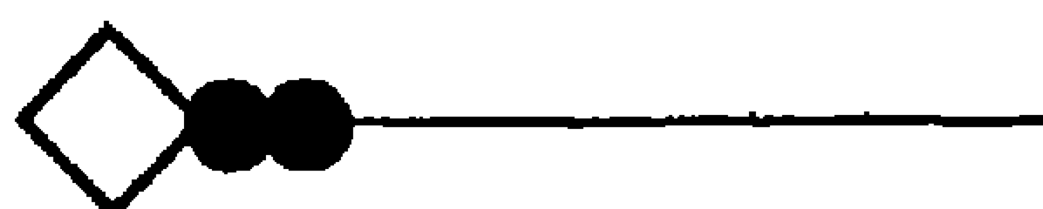
**Tribus, M., Shannon, P.t., and Evans, R. B., 1966.** Why Thermodynamics Is a Logical Consequence of Information Theory. A. I. Ch. E. Journal, 12(2):,244-248.

**Tsukamoto, Y., 1979.** An Information The Genetic Code. J. Theor. Biol., 78:451-498.

**Ulanowicz, R. E., 1986.** Growth and Devlopment. Springer 203 pages.

**Ulanowicz, R. E., 1998.** Network Orientors: Theoretical and Philosophical Considerations why Ecosystems may Exhibit a Propensitiy to Increase in Ascendency. Chap. 2.10 In: Muller, F. and Leupelt, M., (eds.) 1998. Eco Targets, Goal Functions, and Orientors. Springer, 619 pages.

**Ulanowicz, R.E. and Wollf, W.F., 1991.** Ecosystem Flow Networks: Loaded Dice. Math. Biosci. 103:45-68.





**Vincent, L. M., 1993.** Theory of data Transferral. Principles of a New Approach to the information Concept. Acta. Biotheo., 41:139-45.

**Wagensberg, J., Valls, J. and Bermudez, J., 1988.** Biological adaptation and the mathematical Theory of Information. Bull. Math. Biol. 50(5):445-464.

**Wagensberg, J., Garcia, A., and Sole, R.V., 1990.** Connectivity and Information tranfer in Flow Networks: Two Magic Numbers in Ecology., Bull. Math. Biol., 52 (6):733-744.

**Walker, I., 1993.** Competition and Information. Acta. Biotheor., 41:249-266.

**Weaver, W., 1949.** The mathematics of communication. Sci.Am. 181(1):11-15.

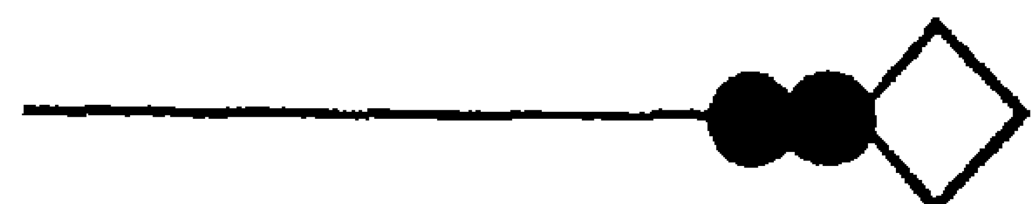
**Weber, B. H., Depew, D. J. and Smith, J. D., 1988.** Entropy, Information, and Evolution. Bradford, MIT, 376 pages.

**Weher, B.J., Depew, D. J., Dyke, C., Salthe, S.N., Schneider, E.D., Ulanowicz, R. E. and Wicken, J.S., 1989.** Evolution in Thermodynamic Perspective: An Ecological Approach. Biology and Philosophy, 4:373 - 405.

**Weizsacker, E. von, and Weizsacker, C. von, 1972.** Wiederaufnahme der begrifflichen Frage: Was ist Information? Nova Acta Leopodina, 37 (206): 535-555.

**Whittaker, R.H., 1972.** Evolution and measurement of species diversity. TAXON, 21 (2/3), 213- 251.





**Wicken, J. S., 1978.** Information Transformations in Molveular Evolution J. Theor. Biol., 72:191-204

**Wicken, J. S., 1983.** Entropy, Information, and Nonequilibrium Evolution. Syst. Zool., 32 (4):438-443.

**Wicken, J. S., 1987a.** Entropy and Information: Suggestions for a Common Language. Philosophy of Science, 54:17-93 .

**Wicken, J., 1987b.** Evolution, Thermodynamics and information. Extending the Darwinia Program. Oxford, 243 pages.

**Wicken, J. S., 1988.** Thermodynamics Evolution, and Emergence: Ingredients for a New Synthesis. Chapter 7 in weber, B. H., Depew, D. J. and Smith, J. D. (eds.): Entropy, Information, and Evolution. Bradford, MIT, 376 pages.

**Wiley, E.O. and Brooks, D.R., 1982.** Victims of history-A non-equilibrium approach to evolution. Syst. Zool., 31 (1):1 - 24.

**Wiley, E.O. and Brooks, D.R., 1983.** Nonequilibrium Thermo-dynamics and Evolution: A Response to Lovtrup.

**مراجع شبكة المعلومات:**

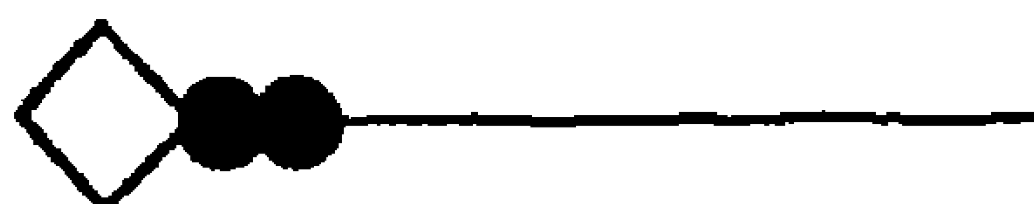
http://firstgov.gov/http://firstgov.gov/http://science.gove/http://
science.gove/

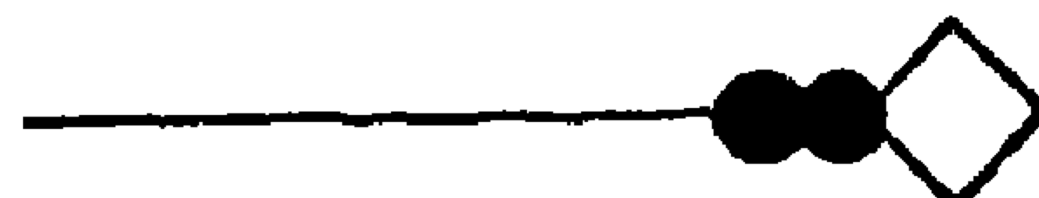
/cbi//cbi/http://search.usgs.gov/http://

search.usgs.gov/http://chi/sitemap.html/

cbi/sitemap.html/cbi/contact.html/cbi/contact.html/cbi/about//cbi//cbi//
cbi/bio-cbar//cbi/geo-tech//cbi/geo-

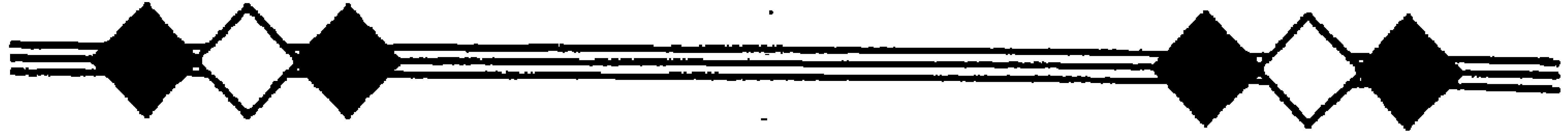
tech//cbi/informatics//cbi/informatics//chi/nbii//chi/n





# الفصل الثامن

## النماذج البيئية وصحة النظام البيئى



١- تطبيقات النماذج البيئية فى نمو السكان.

٢- صحة النظام البيئى.

٣- تطبيق النظريات والنماذج البيئية لتقييم صحة النظام البيئى.

٤- نظام نهر النيل.

- مراجع مختارة.

## ١- تطبيق النماذج البيئية فى نمو السكان:

### أ- نمو الأهلات البشرية- الزيادة السكانية Human Population Growth

تعرضت الآهلات البشرية Human Populations إلى مراحل مختلفة من الزيادة والنقص على مر التاريخ، وعلى سبيل المثال انخفض تعداد البشر فى القرن الرابع عشر نتيجة انتشار وباء الطاعون الدبلى المعروف بالموت الأسود Bubonic Plague or Black Death حيث انخفض تعداد سكان قارة أوروبا بمقدار ٢٥٪ (Freedman and Berelson, 1974). كان نمو الآهلات البشرية بطيئاً عبر عشرات من القرون، أما أول زيادة ملحوظة فى تعداد البشر فكانت منذ حوالى ثمانية آلاف عام شكل (١) وكان ذلك متزامنا مع نمو الزراعة الذى أدى إلى زيادة السعة البيئية Carrying Capacity فى المناطق التى يزرعها الإنسان. وسجل ثانى ارتفاع ملحوظ فى تعداد السكان منذ حوالى مائتى عام مع بداية الثورة الصناعية واستخدام الوقود فى إنتاج الطاقة واستعمار القارات التى كانت تحتوى على أعداد بسيطة من البشر ونقص معدلات الوفيات بسبب تقدم الرعاية الطبية. لقد شهدت المائتى عام الأخيرة أكثر من ٨٠٪ من الزيادة الكلية لتعداد البشر عبر التاريخ (شكل ٢).

ويتوقع أن عدد سكان العالم سوف يتراوح بين ٩-١٤ بليون نسمة خلال القرن الحادى والعشرين (شكلا ١، ٢).

انخفض معدل زيادة تعداد السكان فى البلاد المتقدمة من ١,١٩٪ (بين أعوام ١٩٦٠-١٩٦٥) ليصل إلى ٠,٤٨٪ (بين أعوام ١٩٩٠-١٩٩٥) بعكس الدول

الآخـذة فى النمو حيث ارتفع معدل الزيادة السكانية من ٢,٣٥٪ (بين أعوام ١٩٦٠-١٩٦٥) إلى ٢,٣٨٪ (بين أعوام ١٩٧٠-١٩٧٥) ولكنه انخفض ليصل إلى ٢,١٪ بين أعوام (١٩٨٠-١٩٨٥). (Stiling, 1996) وتعتبر أفريقيا أكثر مناطق العالم من حيث الخصوبة (جدول ١).

***جدول (١). معدل الخصوبة فى مناطق مختلفة من العالم***

***معبرا عنه بمتوسط عدد الأطفال لكل زوجة***

| المكان | معدل الخصوبة |
|---|---|
| أفريقيا | ٦,٠ |
| شمال أمريكا | ٤,٠ |
| جنوب أمريكا | ٣,٠ |
| أسيا | ٤,٠ |
| الولايات المتحدة | ١,٩ |
| أوروبا | ٢,٠ |
| الاتحاد السوفيتى (سابقا) | ٢,٣ |

### ب- هل مصر مجتمع مالثوس؟ Egypt a Malthusian Society?

توماس مالثوس (١٧٦٦-١٨٣٤) هو عالم اقتصاد إنجليزى دعا إلى كبح التزايد المتعاظم فى عدد سكان العالم عن طريق ضبط النسل وله نظرية تقر بأن عدد السكان يتزايد بنسبة تفوق ازدياد الموارد الغذائية مما سوف يؤدى إلى حدوث المجاعات والحروب وتفشى الأمراض. ذكر (Odum, 1997) أن مصر تعتبر مجتمع مالثوس حيث يمكن أن يتجاوز عدد السكان فى فترة قصيرة الموارد الغذائية. ازدادت مساحة الأرض الزراعية فى مصر من ٥,٥ الى ٧,٥ مليون فدان بين أعوام ١٩٠٠-١٩٩٠ نتيجة لإنشاء السد العالى وعمليات استصلاح الأرضى وتقدم

التقنيات الزراعية، ولكن عدد السكان ارتفع فى تلك الفترة (بين أعوام ١٩٠٠-١٩٩٠) من ١٠ مليون إلى ٥٠ مليون نسمة، ومن ثم فقد انخفض نصيب الفرد السنوى من (٠,٥) إلى (٠,١) فدان سنويا. وهناك طريقة بسيطة لحساب الزيادة المتوقعة فى تعداد السكان عن طريق حساب زمن تضاعف الآهلة (عدد السكان) (Popuation doubling time) وزمن تضاعف الأهله هو عدد السنوات التى يتضاعف فيها عدد السكان، ويمكن حساب زمن تضاعف الآهلة من العلاقة:

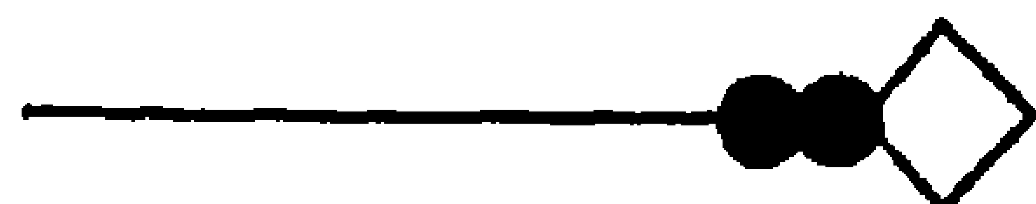
زمن التضاعف log % rate of increase/r = Population Doubling Time

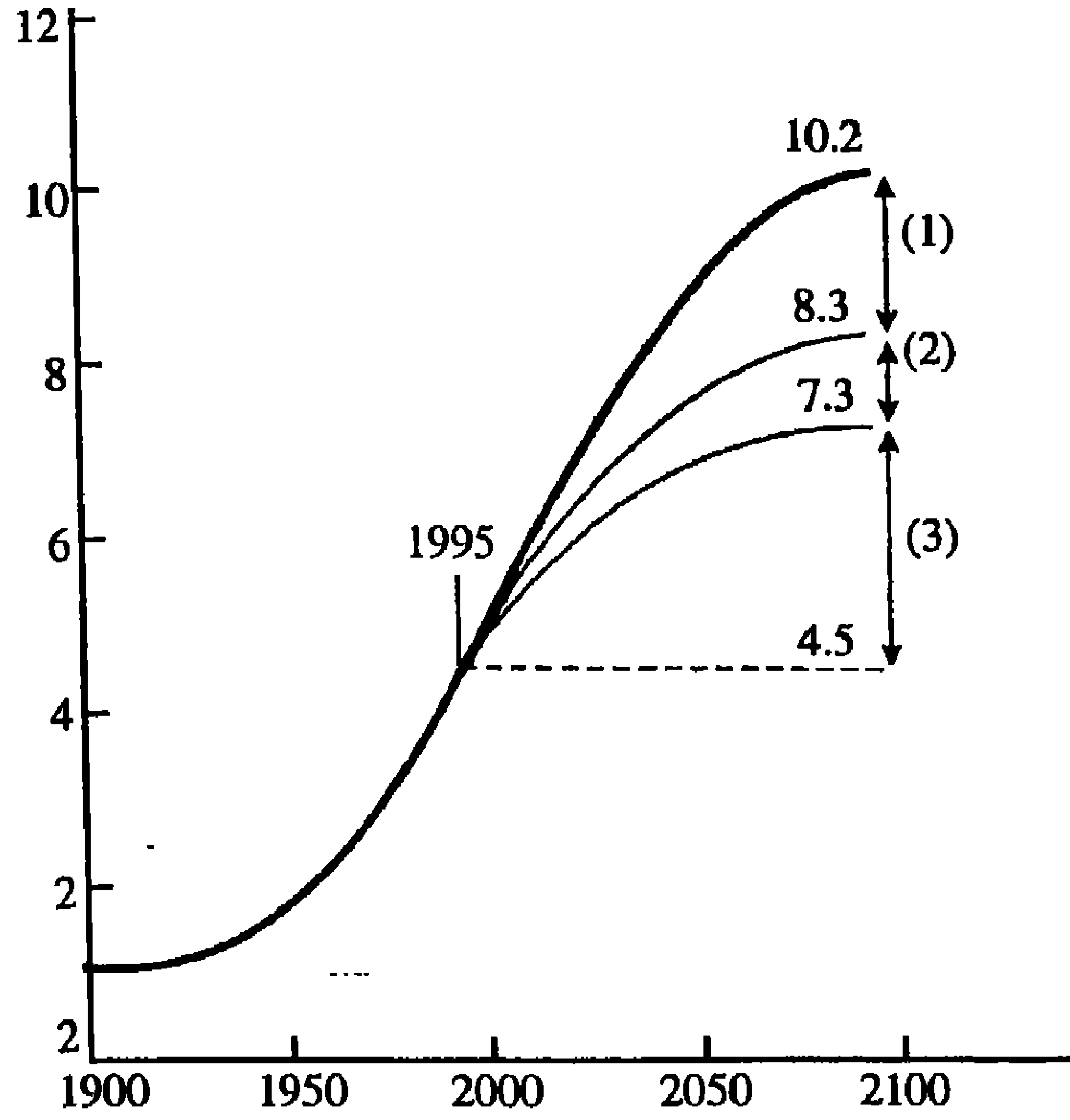
حيث: (r) = النسبة المئوية للزيادة السنوية فى صورة كسر عشرى: ، فإذا افترضنا أن عدد سكان مصر عام ٢٠٠٠ هو ٦٥ مليون نسمة فإن جدول (٢) يوضح العام المتوقع أن يتضاعف تعداد سكان مصر ليصل إلى ١٣٠ مليون نسمة عند احتمالات مختلفة لمعدلات الزيادة تتراوح بين ٠,٨٪ إلى ٥٪.

ويوضح الجدول أن تعداد السكان فى مصر يمكن أن يصل إلى ١٣٠ مليون نسمة فى فترة تصل تقريباً إلى ٨٧ عاما (عام ٢٠٨٧) إذا كان معدل الزيادة السكانية فى التعداد هو ٠,٨٪ (كما فى حالة بعض الدول المتقدمة فى أوروبا) و١٤ عام (٢٠١٤) إذا كان معدل الزيادة السكانية ٥٪ (وهو نسبة متوسطة بين معدلات الزيادة السنوية فى أفريقيا وشمال أمريكا (راجع أيضا جدول ١).

وتجدر الإشارة إلى أن الزيادة فى تعداد السكان بمعدلات عالية لا تؤدى فقط إلى استنزاف المواد الطبيعية وإبطاء النمو الاقتصادى ولكنها تؤدى أيضا إلى تفاقم بعض المشكلات البيئية الناتجة عن استخدام المبيدات الحشرية والمخصبات الزراعية بمعدلات عالية لسد احتياجات السكان، بالإضافة إلى صعوبة التخلص من المخلفات.








**شكل (١): البدائل المختلفة لمعدلات نمو الأهلات البشرية (تعداد السكان) حتى عام ٢١٠٠ عن (Bongaarts, 1994) طبقاً لثلاثة احتمالات:**

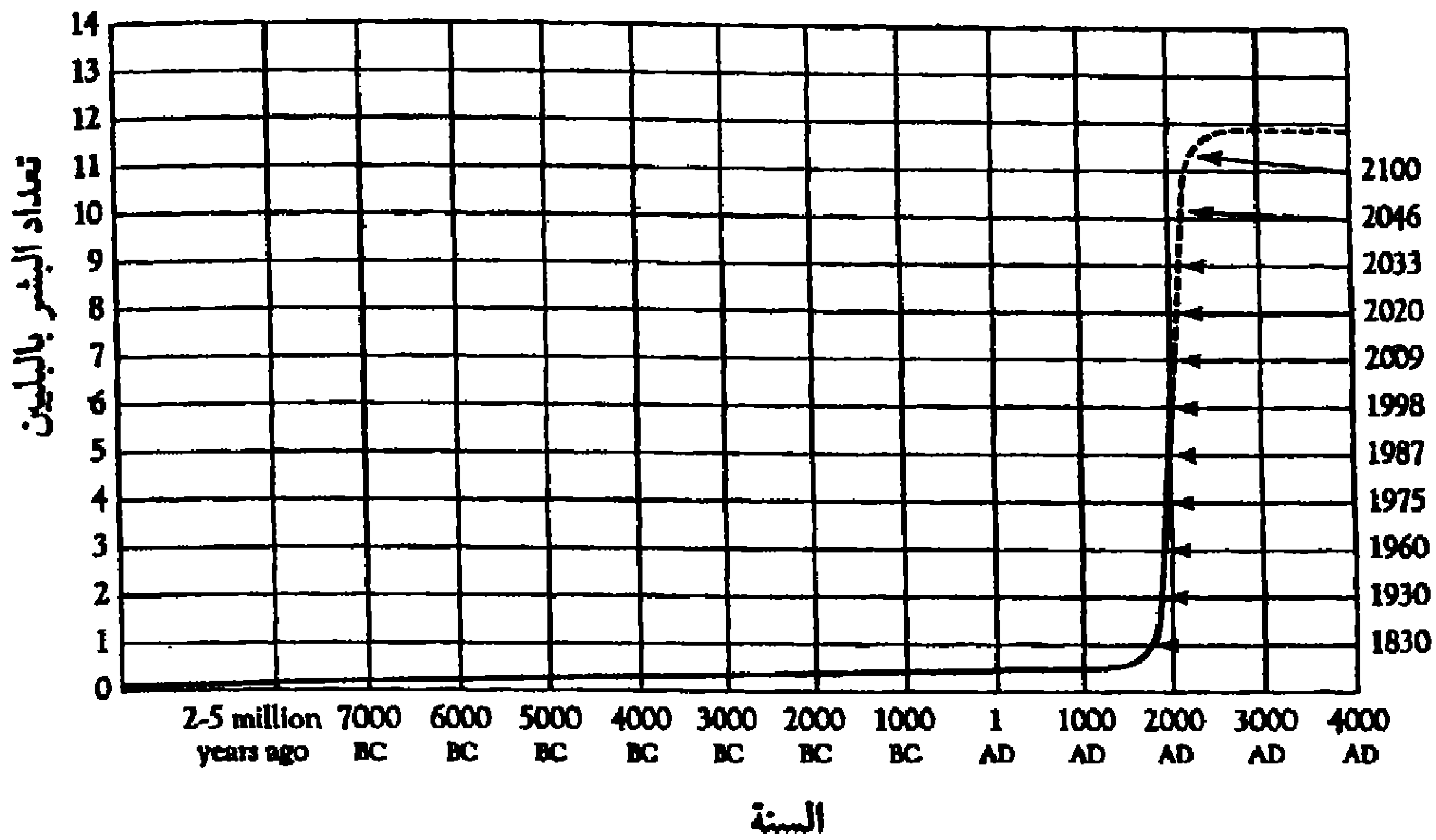
(١) خصوبة غير مطلوبة Unwanted Fertility كما فى حالة الحمل فى مرحلة المراهقة وفى هذه الحالة يمكن أن يصل عدد السكان إلى عشرة بلايين أو أكثر.

(٢) الرغبة فى الأسر الكبيرة Desired High Family Size ويحدث هذا نتيجة احتياج بعض الاسر فى دول العالم الثالث إلى عدد كبير من الأطفال للعمل ومعاونة الآباء، وفى هذه الحالة سوف يصل التعداد إلى تسعة بلايين على الأقل.

(٣) أن تنجب كل أنثى طفلين فقط وفى هذه الحالة سوف يصل تعداد السكان إلى سبعة بلايين على الأقل.

جدول (٢) زمن تضاعف الأهلة (عدد السكان) فى جمهورية مصر العربية عند احتمالات مختلفة للنسبة المئوية للزيادة السكانية.

| العام الذى يتوقع أن يصل فيه التعداد إلى ١٢٠ مليون نسمة | زمن تضاعف الأهلة (بالسنوات) | النسبة المئوية للزيادة |
|---|---|---|
| 2087 | 86.64 | 0.8 |
| 2070 | 69.31 | 1.0 |
| 2058 | 57.76 | 1.2 |
| 2050 | 49.51 | 1.4 |
| 2043 | 43.32 | 1.6 |
| 2039 | 38.50 | 1.8 |
| 2035 | 34.66 | 2.0 |
| 2032 | 31.50 | 2.2 |
| 2029 | 28.88 | 2.4 |
| 2027 | 26.66 | 2.6 |
| 2025 | 24.75 | 2.8 |
| 2023 | 23.10 | 3.0 |
| 2022 | 21.66 | 3.2 |
| 2020 | 20.39 | 3.4 |
| 2019 | 19.25 | 3.6 |
| 2018 | 18.24 | 3.8 |
| 2017 | 17.33 | 4.0 |
| 2017 | 16.50 | 4.2 |
| 2016 | 15.75 | 4.4 |
| 2015 | 15.07 | 4.6 |
| 2014 | 14.44 | 4.8 |
| 2014 | 13.86 | 5.0 |




**شكل (٢): الزيادة فى تعداد البشر ـ يوضح الشكل أن النمو السكانى كان بطيئاً وحدث الانفجار السكانى فجاة فى الآونة الأخيرة عن (Stiling, 1996).**

## ٢- صحة النظام البيئى

يمكن التمييز بصفة عامة بين تلوث محدد المصدر Point Source Pollution (مثال: مدخنة مصنع) مقابل تلوث غير محدد المصادر Nonpoint-Source Pollution. ويمكن بسهولة رصد تلوث محدد المصدر والحد من انبعاثاته. أما تلوث غير محدد المصدر فمن الصعب تتبعه كما فى حالة عوادم السيارات ومياه الصرف الزراعى. والواقع أن خطورة النوع الأخير من التلوث تزايدت فى الآونة الأخيرة. وتعتبر القاهرة من أكثر مناطق العالم على الإطلاق من حيث التلوث الهوائى بالغبار والجزيئات المعلقة. ونقدم فيما يلى بعض المعلومات عن تلوث محدد المصدر Point Source Pollution وتلوث غير محدد المصدر Nonpoint-Source Pollution فى القاهرة الكبرى والجيزة.

### أ) تلوث محدد المصدر Point Source Pollution:

تعتبر منطقة «أبو زعبل» من أكثر المناطق تعرضا لتلوث الهواء بالقاهرة، وقد قدم جهاز شؤون البيئة بجمهورية مصر تقريرا حول تلوث الهواء فى المناطق الصناعية فى القاهرة. ويعطى جدول (٣) درجة تركيز الملوثات فى مناطق مختلفة





من القاهرة الكبرى والحد المسموح به من مختلف الملوثات، وقد أعطت دراسات جهاز شؤون البيئة بعض الإحصاءات التى أوضحت خطورة المرحلة التى وصلت إليها القاهرة من الملوثات ونذكر منها:

١) حوالى ٢٠٪ من سكان منطقة شبرا يعانون من أمراض فى الرئة نظرا للتعرض لجرعات عالية من ثانى أكسيد الكبريت والدخان.

٢) ٢٩٪ من أطفال المدارس فى حلوان يعانون من أمراض رئوية فى المناطق القريبة من مصانع الأسمنت.

٣) معدل الوفيات بأمراض الصدر فى حلوان هو ١٩٪.

٤) نسبة التلوث بالأوزون سوف تؤدى إلى تضاعف نسبة أمراض الجهاز التنفسى وبعض أمراض العيون بالإضافة إلى ضعف نمو النبات حيث سجل انخفاض فى محصول البرسيم وقدر هذا الانخفاض بما يعادل ٥٠-٦٠٪ من الإنتاج فى منطقة شبرا الخيمة.

ومن المؤسف أن الزيارة الميدانية (للمؤلف) لمنطقة «أبو زعبل» عام ١٩٩٩ (أى بعد ظهور تقرير جهاز شؤون البيئة بسبع سنوات) أظهرت ما يلى:

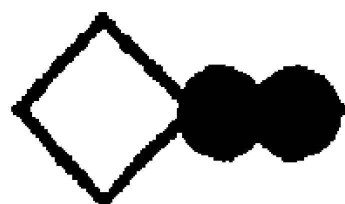
١) الكثير من السكان فى منطقة «أبو زعبل» يعانون من أمراض صدرية مزمنة.

٢) الملوثات غير المعالجة لا تزال تنبعث من المنشآت الصناعية فى المنطقة.

٣) وجود حفر هائلة نتيجة عمليات تعدين تحتوى تلك الحفر على مياه جوفية وتستخدم تلك الحفر كمقالب للقمامة مع ملاحظة أن عمليات التخلص من القمامة بالحرق مستمرة ليلا ونهارا.

٤) دمرت بعض حقول المحاصيل الزراعية وجفت النباتات نتيجة ارتفاع نسبة الملوثات فى الهواء بالإضافة إلى ما تعانيه نباتات الزينة ونباتات الظل والنباتات البرية من الضعف نتيجة تلك الانبعاثات.

إن البيانات التى عرضناها فى الفقرات السابقة توضح أن مشكلة التلوث فى القاهرة قد تفاقمت بالفعل حتى إنها وصلت إلى حد تهديد أمن وحياة الملايين من المواطنين، ومن ثم فإننا نرى أن مشكلة التلوث تحتاج إلى ردع فورى لكل من يساهم فى تفاقمها من أصحاب المنشآت الصناعية أو أى منتفع باستمرار بث الملوث فى جو مصر؛ لأنها ببساطة تعنى قتلا جماعيا وانتشارا جماعيا للأمراض والأوبئة المزمنة.





## جدول (٣)

### ملخص لتلوث الهواء فى مصر ug (عن EEAA 1992)

| نوع التلوث | مستوى التلوث | وسط القاهرة | المناطق السكنية | المناطق الصناعية | النسبة المسموح بها عالميا (من - إلى) |
|---|---|---|---|---|---|
| TSP | AVG | 700 | 590-600 | 600-840 | 70 -50 |
| | MAX | (?) | 900 | 1200-1800 | 120 - 150 |
| Smoke | AVG | 140 | 70 -130 | 60-150 | 50 |
| | MAX | 250 | 140 | 760 | - |
| $So_2$ | AVG | 260 | 100 | 105 - 155 | 50 - 80 |
| | MAX | (?) | (?) | 2430 | 125 - 150 |
| $NO_2$ | AVG | 200 | 100 | 90 - 140 | 95 |
| | MAX | - | 160 | 200 | 150 |
| Ozone | | | | | |
| (1h) | MAX | 275 | 410 | 196 - 350 | 150 - 235 |
| CO | MAX | | | | |
| (1h) | Street level | - | 42 -57 | - | 30 - 40 |
| Lead | AVG(3h) | - | 2.8 -12.5 | - | 1.5 |
| | AVG (3mdr) | - | 0.6-3.0 | - | 0.5 - 0.1 |

TSP إجمالى نسبة الجزيئات العالقة فى الهواء Total Suspended Particles.

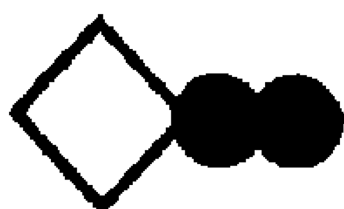
AVG قيمة المتوسط السنوى Annual Average Value .

MAX الحد الأقصى ٢٤ ساعة 24 Hours Maximum.

1h متوسط زمن القياس ساعة واحدة Average Time 1 Hour.

3h متوسط زمن القياس ٣ ساعات Average Time 3 Hours.

3mdr متوسط زمن القياس ٣ أشهر Average Time 3 Months.





## ب - تلوث غير محدد المصدر Nonpoint-Source Pollution:

يمكن ببساطة رصد التلوث محـدد المصدر، ولكن من الصعب رصد تلوث غيـر محدد المصدر والأخـير الذى يهدد البـحيرات والأنهار والمحـيطات والغلاف الجوى، وتؤدى المبالغة فى استخدام المخصبـات الزراعية والمبيدات الحشرية إلى مثل هذا النوع من التلوث حيث تتسرب المركبات النتروجينية والفسفورية وبقايا المبيدات وغيرها إلى مجارى الأنهار والمياه الجوفية وغيرها من تجمعات المياه، ويعطى جدول (٤) نتائج تحاليل عينة من مصرف زراعى ضحل ومجرى مياه للرى فى منطقة «أبو رواش» وهى منطقة زراعية تتبع محـافظة الجيزة. ويتضح من الجدول مدى خطورة تراكم الملوثات الزراعـية فى تلك المـنطقة حـيث وصلت نسبـة مركـبات النتـرات والكلوريدات والكبـريت إلى ٥,٦، ٤٢٦، ٧٢٠ (مج/لتـر) على التوالى، وقـد تنبهت الدول المتقدمة إلى خطورة تلك الملوثات، وعلى سبيل المثال تقدر كمية المياه الجوفية فى الولايات المتـحدة بأربعة أمثال كمية الميـاه فى البحيرات العظمى إلا أن علماء البيئـة يحذرون من تراكم الملوثات فى تلك المياه نتيجة المبالغـة فى استخدام المخصبات والمبيدات الزراعية.

***جدول (٤) نسب بعض العناصر فى مصرف زراعى ومجرى رى فى منطقة «أبو رواش» بمحافظة الجيزة (تم التحليل فى وحدة التحاليل الدقيقة بجامعة القاهرة)***

| القياس | النسبة فى المصرف الزراعى | النسبة فى مياه الرى |
|---|---|---|
| درجة تعكر الماء(TE/F) | ١٣ | ٨ |
| الأملاح المذابة | ٢٤٨٢,٦ | ٤٤٦,٣ |
| الرصاص Lead (ppm) | ٠,٠٩٢ | ٠,٠٧٣ |
| النترات Nitrates (mg/L) | ٥,٦ | ١,٢ |
| الكادميوم cadmium(ppm) | ٠,٠٠٣ | ٠,٠٠٣ |
| الكلوريدات chlorides (mg/L) | ٤٢٦ | ٧١ |
| الكبريتSulphates (mg/L) | ٢٧٠ | ٦٢ |
| الزنك Zink (mg/L) | ٠,٠٣ | ٠,١٢ |
| درجة تركيز أيونات الهدروجين (pH) | ٨,٨٢ | ٨,٣٢ |

## ٣- تطبيق النظريات والنماذج البيئية لتقييم صحة النظام البيئى

### أ- نمو مفهوم الصحة من الكائن الحى إلى النظام البيئى:-

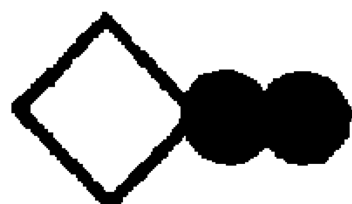
يعتبر امتداد مفهوم الصحة من الفرد إلى النظام البيئى ككل فكرة حديثة نسبيا، وهذا الامتداد فى مفهوم الصحة يشبه إدراك الأطباء البيطريين لمفهوم صحة القطيع بدلا من صحة كل فرد على حدة من القطيع أو المزرعة، فاليوم ينظر إلى صحة القطيع ككيان واحد. (Rabble et al, 1997; Walter-Toews,1996)

لقد تنامت فى العقدين الأخيرين فكرة صحة النظام البيئى كجسد واحد أو كيان متكامل بحيث إذا ما أصيب أى جزء من هذا الجسد فسوف يؤدى هذا، بالقطع، إلى التأثير سلبا على النظام ككل واحد مترابط.

لقد صدر عدد خاص من مجلة Science (العدد ٢٧٧صادر فى ٢٥يوليو عام ١٩٩٧) يعطى دلائل وشواهد قوية على أنه لا يوجد مكان واحد على سطح الكرة الأرضية لم يتأثر بالأنشطة البشرية ومن ثم تؤكد المجلة على أن جميع الأنظمة البيئية على سطح الكرة الأرضية تحتاج إلى إدارة بدرجات تتفاوت تبعاً لمدى تأثير الإنسان على كل من تلك الأنظمة، وحتى تصبح تلك الإدارة صحيحة فإن ذلك يحتاج إلى التوجيه العلمى لمديرى ومسئولى تلك الأنظمة البيئية.

وفى نفس العام (١٩٩٧) أكد (Vitousek et al,1997) على أن الأنشطة البشرية أدت بالفعل إلى إحداث تغيرات واضحة من مناطق تتراوح بين ثلث ونصف سطح الكرة الأرضية، فعلى سبيل المثال ارتفعت نسبة ثانى أكسيد الكربون فى الغلاف الجوى بما يعادل ٣٠٪ منذ بداية الثورة الصناعية وحتى الآن، كما وجد أن نسبة تثبيت النتروجين الجوى نتيجة الأنشطة البشرية أعلى من نسبة تثبيت النتروجين الجوى نتيجة جميع أنشطة الكائنات الحية مجتمعة، وعلاوة على ذلك فقد توصل هؤلاء الباحثون إلى أن نصف المياه العذبة على سطح الكرة الأرضية تحت الاستعمال و٢٥٪ من أنواع الطيور المعروفة على الكرة الأرضية فى طريقها للانقراض فما هو واجب المجتمع البشرى تجاه الأنظمة البيئية؟.

وقد أجاب (Rapport & Moll, 2000) على السؤال السابق كما يلى : إننا (أى البشر) نحتاج إلى تكامل مفاهيمنا الاقتصادية والبيولوجية والاجتماعية





بالإضافة إلى مفهوم صحة النظام البيئى والأخلاقيات والقيم البيئية من خلال وجهة نظر شمولية أو نظرة شمولية، وتلك النظرة الشمولية يطلق عليها صحة النظام البيئى Ecosystem Health، ويعتبر هذا المفهوم أحد الاتجاهات الحديثة فى إدارة الأنظمة البيئية، وقد أمكن تلخيص هذا الاتجاه من خلال أربع نظريات وضعها (Boyce, 1995) وقد اعتمدت صياغة نظريات (Boyce) على ثلاثة مبادئ، وسوف نصيغ تلك المبادئ قبل صياغة النظريات:

**١- مبدأ الاستمرارية Principle of Continuity:**

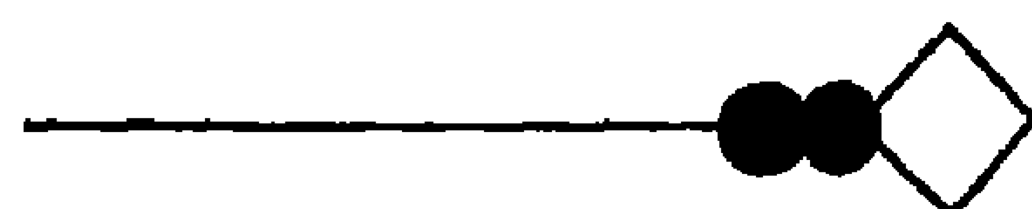
ينص هذا المبدأ على عدم إمكان تغير العمليات البيولوجية من حالة إلى حالة تالية بدون المرور بجميع المراحل الانتقالية الضرورية لتغير العمليات أو الحالة البيولوجية إلى الحالة التالية، على سبيل المثال النظام البيئى المكون من أشجار لابد وأن يكون مر بجميع مراحل نمو النبات بدءا من إنبات البذور ومروراً بالبادرات والأشجار الصغيرة وغيرها من المراحل حتى يصل إلى وضعه الحالى، ويمكن إطلاق أسماء التتابع البيئى Ecological Succession أو النمو Growth أو التحول Transformation على تلك المراحل.

**٢- مبدأ عدم الانعكاس Principle of Irreversibility:**

وينص هذا المبدأ عن أن صفات النظام البيولوجى تختلف عما كانت عليه فى الماضى حيث إن التغيرات الفيزيائية فى النظام البيئى تؤدى حتماً إلى تغير المكونات البيولوجية للنظام، وهذا التغير غير مرتد، فعلى سبيل المثال استهلاك النباتات بالأنواع العشبية واستهلاك الحيوانات العشبية بواسطة المفترسات يؤدى إلى تغيرات غير عكسية فى تكوين النظام البيئى.

إن مبدأ الاستمرارية وعدم الانعكاس هما اللذان يفسران عدم انعكاس التتابع البيئى، أى أن التغير والتتابع البيئى دائما ما يكونان فى اتجاه واحد، وعلى سبيل المثال لا يمكننا توقع ظهور الديناصورات أو الأسماك المدرعة بعد مرور بضعة آلاف أو ملايين من السنين.





### ٣- مبدأ التركيب Principle of Structure:

يستخـدم هذا المبدأ لشرح كيـفية ارتباط المكونات البـيولوجية للنظام الـبيئى وكيفـية انسياب الطاقة والمعلومات خـلال المكونات البيولوجية، حـيث إن انسياب الطاقة والمواد يحـدد ديناميكية وسلـوك المكونات البيولوجـية للنظام البيـئى. فعلى سبـيل المثال يؤدى الموت الطبـيعى للحيـوان وحصاد الأشـجار بواسطة الحـيوانات العشـبية إلى تغيـر تركيب وديناميكيـة الموقع. وموت الأشجار التى تحـجب ضوء الشمس يغـير من كم الأشعة التى يسـتقبلها سطح الأرض أسفـل تلك الأشجار، وهذا يؤدى بدوره، إلى تغـير فى التـركيب العـضوى للتـربة. وبصفـة عامـة فإن الأحداث الطبيعية وإزالة الأشجـار تؤدى فى النهاية إلى تغير معدل تكون المكونات العضوية من أشجار كبيـرة قليلة العدد ظليلة ومرتفعة إلى نمو العديد من أنواع من الأشجار الصغيرة والبادرات على أرضية الغابة.

إن تركيب النظام البيئى من حيث المكونات الطبيعية والبيولوجية يحدد المظهر الجمـالى والبيئـات والتنوع البيولوجى والثـروة البيولوجـية من الأخشـاب والوقود وغيرها فى كل موقع من النظام البيئى، وبصفـة عامة فإن تعضّ المسطحات الغابية Organization of Forested Landscapes يحدد بواسطة ديناميكيات تركيبية تعرف بالمواقع Stands، والموقع هو انتشار معين فى الزمان والمكان.

أما النظريات (Boyce, 1995)، فهى كالتالى:

**النظرية الأولى** Theory I:

"Eash living organism and its environment form an individualistic system with the goal of survival and dynamics of systems with negative feedback control."

«كل كائن حـى وبيئتـه يكونان نظاما فـرديا بهدف البـقاء وديناميكـية تلك الأنظمة تقع تحت سيطرة تغذية استرجاعية سالبة.

هناك اتفاق عام علـى أن الأنظمة الفردية (كل كائن حى يمـثل نظاما فرديا) أنظمة سـبرانية Cybernetic بمعنى أنها منضبطة فى طبـيعتها وغالبـا ما يسيطر على عملياتها تغذية استرجاعية سالبة، ولتبسيط معنى «تغذية استرجاعية سالبة» نفترض



أن العامل (أ) يؤدى إلى إحساس الكائن الحى بالجوع فيندفع إلى تناول الطعام، وبعد تناول الطعام يفرز من جسم الكائن الحى عامل آخر هو (ب) فيؤدى العامل (ب) إلى إحباط العامل (أ) حتى ينتهى الإحساس بالجوع، وبعد فترة معينة (بعد إتمام عملية هضم الطعام) يرتفع مرة أخرى منسوب العامل (أ) مما يؤدى إلى الشعور بالجوع. . . . . . . وهكذا فتنضبط عملية الهضم والاغتذاء والإحساس بالجوع والشبع فى الكائن الحى، وقد أعطينا مثالا على عملية التغذية الاسترجاعية السالبة فى ضبط درجة حرارة الجسم (الفصل التاسع) ويمكن تطبيق ذلك على الهرمونات والإنزيمات وغيرها من العوامل المنظمة لحياة الكائن الحى.

إذن فالكائن الحى يتفاعل مع بيئته بطريقة سبرانية (منضبطة بالمعلومات) مبنية على أساس من عمليات تغذية استرجاعية سالبة، وهذا يفسر عمليات اتزان الكائن الحى أو الاتزان البدنى وهو اتزان بين كل عناصر الكائن الحى Homeostasis.

وما ينطبق على الفرد يمكن أن ينطبق على الأهلات والمجموعات من النوع الواحد أو المجتمعات من أنواع مختلفة فى حيز بيئى معين حيث تنتظم الآهلات إلى حد قريب من درجة الاتزان، ولكن النظرية السابقة تفترض أن تنظيم الآهلات يعتمد على كل فرد ولكن ليس على الاهلات ككل فالتنظيم الذاتى لكل فرد مندمج مع بيئته كنظام فردى Individualisitc System هو الذى يؤدى فى النهاية إلى تنظم الأهلات أو المجتمعات، فالسبرانية (الضبط بالمعلومات) حق كل فرد فى الجماعة ولكنها ليست عملا مشتركا بين أفراد الجماعة، فالجماعات أو الآهلات النباتية والحيوانية لا تخضع لتنظيم جماعى، ولكنها تستجيب بشكل فردى إلى التغيرات البيئية.

لا يمكن تعميم تلك النظرية بشكل مطلق حيث إنها تتجاهل العديد من الدراسات السلوكية التى تؤكد على استجابات سلوكية جماعية للتغيرات البيئية العشوائية بالإضافة إلى سلوك الغيرية أو تضحية فرد من أجل المجموع (راجع الشاذلى - مبادئ علم بيئة الحشرات).

**النظرية الثانية Theory II:**

"The reversibility of biological processes results in mortality of individualistic systems whose survivors create an aimless community organization".





«يؤدى عدم انعكـاس العمليات البـيولوجـية إلى الموت فى الأنظمـة الفردية (يقصد مـوت أفراد)، والأنظمة الفردية الحـية تؤدى إلى تعضٍّ اجتمـاعى غير ذى هدف».

مرة أخـرى يؤكد (Boye, 1995) من خلال النظرية الثـانية على أن الأنظمة البيئية تبنى على انسياب عشـوائى وغير هادف للطاقة وانها ليست أنظمة مرتبطة أو سبراتية.

تناقض هذه النظرية ما حـاول العديد من علماء البيـئة المثال: (H.T. odum, 1960; E.P. odum,1969; van Dyne 1966, 1969 a,b; Patten, 1964; watt, 1968). التوصل إليه من أن النظام البيئى ككل هـو نظام منضبط بمعنى أن السبرانية تنتقل من النظم الفردية إلى النظام البيئى ككل.

وكمـا ذكرنا سـابقاً، فإن المؤلف يمـيل إلى أن النظام البيـئى ككل هو نظام سبرانى، منضبط إلى أن يشاء الله عز وجل.

**النظرية الثالثة Theory III:**

"Flows of energy and materials are undirectional and have the dynamics of systems with positive feedback control".

«انسياب أو حركة الطاقة والمادة فى النظام البيـئى غير محدد الاتجاه وتخضع لديناميكية الأنظمة ذات التغذية الاسترجاعية الموجبة».

يعتمد تركيب الأنظمة البيئية على كمـية الطاقة الشمسية التى تستقبلها تلك الأنظمة وأيضاً على كمـية ثانى أكسيد الكربون والأكسـجين وغيرها من المواد. إن تأجـيل تشتت الطاقـة والمواد فى الكائن الحى، عن طريق حـفظ الكائن الحى إلى جزء من المادة - فى جسـده - والطاقة أثناء حياته وحتى مـوته - إن تأجيل تشتت الطاقة والمواد بواسطة الكائن الحى لا يمكن شرحـه ببساطة بتطبيق نظريات الاتزان الديناميكى الحرارى. إن ما ذكره (Spanner,1964) من أن الكون يتحرك تجاه اتزان ديناميكى حرارى فهذا الاتزان يعنى ببساطة من وجهة النظر البيولوجية موت جميع





الكائنات الحية. إن هذه النظرية تقر بأن انسياب الطاقة فى النظام البيئى هو انسياب «مشتت» وليس متحفظا وهو باتجاه زيادة الأنتروبى Entropy أو زيادة إهدار الطاقة فى الكون كنظام ديناميكى حرارى. إن هذه العمليات - غير المنعكسة - والتى لا تمر بمراحل اتزان ديناميكى حرارى يجب أن تخضع لدراسة ما يعرف بالديناميكا الحرارية للعمليات غير المنعكسة Thermodynamics of Irreversible Processes.

لقد أراد Boyce, 1995 من نظريته الثالثة أن يؤكد على وجود علاقة بين سلوك الكائنات الحية Organisms والمجتمعات Communities ومبدأ الديناميكا الحرارية الذى يقر بازدياد الأنتروبى Entropyأو الطاقة المشتتة فى الكون مع مرور الوقت.

الكائنات الحية ومجتمعاتها والتى يطلق عليها اسم الغابات أو البيئات الطبيعية هى فى النهاية أنظمة تتغير وتتبدل من حالة عدم اتزان إلى حالة عدم اتزان تالية لا يمكن أن تعود إلى حالة سابقة، فالتحول من عدم اتزان إلى عدم اتزان هو تحول «غير عكسى».

**النظرية الرابعة Theory IV:**

" States of organization of forested landscapes determine baskets of benefits that satisfy human desires "

«إن سلة المنفعة البشرية من المسطحات الغابية تعتمد على الحالة التنظيمية لتلك المسطحات»

تتغير الحالة التنظيمية للأنظمة البيئية عبر الزمن مع كفاح الأنظمة الفردية لجعل المتغيرات البيئية فى حدود طاقتها الاحتمالية وقدرتها على مقاومة الموت الذى يؤدى حتما إلى تغير انسياب الطاقة والمواد فى النظام البيئى. ويستطيع القائمون على إدارة الأنظمة الطبيعية تحديد المنفعة التى يمكن الحصول عليها من الناحية الجمالية أو الاستفادة بالأخشاب والتنوع البيولوجى طبقا لطبيعة الموقع من حيث نوعية المكونات البيولوجية ومساحة الموقع وحالة الاتزان وقت اتخاذ القرار.





### ب- تشخيص صحة النظام البيئى

سوف يتم استخدام شبكة المعلومات النظرية المتاحة لمناقشة التوجهات الحديثة فى إدارة الأنظمة البيئية وكيفيــة تطبيق تلك المعلومات فى تشخيص أو تقييم صحة النظام البيئى.

طبقــا لما ذكره (Boyce, 1995)، فإن النظريات الســابق ذكرها تمدنا بالأسس التى يمكن أن نستخلص منهــا قاعدة عــامة وهى أن «الأنظمــة البيــئية الطبــيعية غيرالمدارة (بدون إدارة) هى أنظمة بلا هدف ومن ثم فإن إدارة تلك الأنظمة يحولها إلى أنظمة مــحددة الهــدف، بالإضافة إلى أن تلك الأنظمــة يمكن أن تمدنا بأسس لوضع نماذج للمسطحات الغابية أو الأنظمة البيئية الغابية.

سوف نعطى فى الجزء القادم أمــثلة لتلك النماذج لإيضاح كيفية اســتخدامها لتحديــد الحالة الصحيــة للنظام البيئى، ومن ثم فإننا ســوف نعطى شرحا لكيــفية استخدام النماذج البيئية والنظريات البيئية لتحقيق الأهداف التالية:

١- تأسيس معايير أو قواعد ومقاييس معينة للنظام البيئى مثل المساحة والحدود.

٢- التحقق مــن الأشياء غير المعــتادة التى قد تنجم نتيــجة ضغط أو مجــموعة ضغوط على النظام البيئى (تشخيص الحالة المرضية للنظام البيئى).

٣- تحديد الأسباب والعلاقات التى قد تؤدى إلى حدوث انحرافات غير متوقعة فى النظام. وســوف نقدم فيــما يلى شــرحا مــبسطا لمبــدأ تأسيس المعــايير بالإضــافة إلى تشــخيص أو تــعريف الحــالة المرضيــة Pathological State للنظام البيئى.

- **تأسيس المعايير Establishing the Norms:**

طبقا للنظرية رقم (٤) المذكورة أعلاه، يعتمد مقدار انتفاع الإنسان من النظام البيــئى على حالة أو وضع النظام البيــئى. أو فى عبارة أخــرى الحالة الصحــية أو صحــة النظام البيئى تحت الدراســة. «فالحالة الصــحية للنظام البــيئى» ecosystem Health هى مجرد تعبير عــن تكامل التعضى للنظام البيولوجى Organization of Biological System لإرضاء رغبات الإنسان الاقتصادية والاجــتماعية مثل إمكانية

الحصول على الأخشاب الطبيعية أو المركبات النباتية أو صلاحية النظام للحفاظ على الأنواع المهددة، بالإضافة إلى النواحى الجمالية والترفيهية التى تحقق منافع اقتصادية ترضى رغبات البشر.

إن صحة النظام البيئى تعتمد على قدرة الإنسان على إدارة النظام، أو بعبارة أخرى يمكن الوصول إلى نظام بيئى صحى عن طريق فن وعلم إدارة النظام، وعلى سبيل المثال فإن علم إدارة الأنظمة الغابية Forest Ecosystem يهدف فى النهاية إلى الوصول إلى نظام غابى مستغل طاقة الشمس بأقصى صورة ممكنة لإنتاج الخامات المطلوبة مع ضمان استمراريته. كما أن النظام الصحى يوفر احتياجات الكائنات الحية الأخرى، فعلى سبيل المثال، تحتاج العديد من الحيوانات إلى مسطحات واسعة من نباتات معينة فى عمر معين للتغذية، وأنواع نباتية أخرى تتخذها كمأوى وأنواع أخرى للتكاثر، وعلى ذلك فالنظام البيئى الصحى هو الذى يدار بطريقة توفر كل تلك المتطلبات لأنواع الحيوانات والنباتات المتواجدة فى هذا النظام مع ضمان استمرارها.

وما تقدم يطرح سؤالا بديهيا، وهو: كيف يمكن استخدام النماذج البيئية والنظريات البيئية لخلق المعايير أو القواعد التى تحدد صفات النظام البيئى؟. لقد حاول (Boyce,1995) الإجابة على السؤال بافتراض ضرورة تصميم خطط توجه التعضى للأنظمة الذاتية للوصول إلى الحالة المطلوبة للنظام البيئى، وهذا يعنى من وجهة نظر هذا المؤلف تدخل الإ ان لطرح وتطبيق نماذج لإدارة الأنظمة البيئية، وقد أعطى المؤلف السابق (Boyce,1995) بعض نماذج الإدارة التى تهدف إلى تغير الحالة الأصلية لتعضى الغابات بخطوات منظمة ومحددة بهدف الوصول بالنظام إلى الحالة الصحية.

ومن أمثلة ذلك إزالة الأخشاب أو الأشجار من الأنظمة الغابية بطريقة منظمة بهدف إتاحة وصول ضوء الشمس إلى مساحات معينة من أرضية الغابة ضمانا لوجود واستمرارية بيئات متعددة، هذا فضلا عن الكسب المادى الذى ينتج عن إزالة واستخدام الأشجار الخشبية.





- **تشخيص الحالة المرضية للنظام البيئى:**

**Identification of Pathological State**

من الصـعب فى وجود مـعلومات مـتناثرة أو مشـاهدات على المدى الزمنى القصيـر تحديد أى خلل فى النظام البيـئى، فقد تكون بعض التغـيرات فى وظائف النظام البيئى تغيرات عرضيـة ولا تعنى بالضرورة انحراف النظام البيئى عن سلوكه الطبيعى، فـعلى سبيل المثال توجد مـستنقعات فى وسط أونتـاريو (كندا). تحتوى على وفرة من الكساء النباتى الذى يستخـدم كمأوى وغذاء للعديد من أنواع الطيور والأسماك، ولكن تلك المسـتنقعات تبدو فى الظاهر وكأنها هادئة وطبـيعية، ولكن توجد عـلامات مرضية فى هذا النظام ومن بينها مـوت الطيور فى الشتـاء بأعداد كبيـرة تفوق معدلات الموت العـادية، وبعد الدراسة وجد أن مـوت الطيور يحدث نتيـجة التسمم بالرصـاص حيث إن هذه المنطقة تسـتخدم لأنشطة الصـيد بواسطة الهواة، ومع تراكم كـميات كبيـرة من الرصاص وعلى المدى الزمنى الطويل، أدى ذلك إلى موت الطيور بأعداد كبيرة.

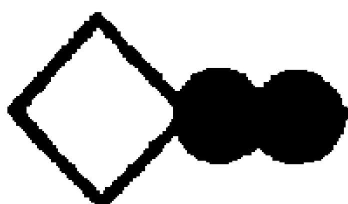
ولمعرفة الحالة الصحية للنظام البـيئى، يجب أن لا نعتمد على مؤشر واحد، ففى المثال السابق كان هناك أكثر من مؤشر مثل موت الطيور وزيادة نسبة الرصاص فى المستنقعات.

سوف نعطى مناقشـة للحالة الصحية لنهـر النيل كأحد الأنظمة البيـئية التى تحتاج إلى تقييم مستمر.

**٤- نظام نهر النيل:**

**أ- النهـر:**

مجرى طبيـعى للمياه، ويمكن أن يكون مصدره بحيرة أو مجـموعة جداول أو غيرها من مـستجمعات الميـاه. جميع الأنهار تنساب من أراضى مـرتفعات إلى أراضى منخفـضة حتى تصب فى البـحر. فمنابع الأنهـار تنشأ فى أراض مرتفـعة والمصبات فى أراضى أكثر انخفاضا. معظم أنهار العالم تعرضت للتلوث عن طريق





إلقاء مخلفات الصرف الصحى أو الزراعى بالإضافة إلى ما يعرف «بتلوث غير محدود المصدر» حيث تتحرك مخلفات المبيدات والأسمدة خلال التربة لتصل إلى مجارى الأنهار وعموما فإن نسبة التلوث أعلى فى الدول النامية. وبالإضافة إلى ذلك فإن السياحة النهرية والنقل النهرى من العوامل التى تسبب تلوث الأنهار.

وتقام السدود على الأنهار بهدف إنتاج الطاقة الكهربائية وترشيد استخدام المياه.

والفيضان جزء طبيعى من دورة النهر، ولكن فيضان الأنهار يسبب بعض الكوارث، ولذلك تبنى السدود لمنع الفيضان وتخزين المياه وإنتاج الطاقة.

**أطول عشرة أنهار فى العالم:**

من الصعب تحديد طول النهر بدقة، ومن الصعب أيضاً تحديد من أين يبدأ النهر بدقة وأين ينتهى وسوف نعطى متوسطات لأطوال ١٠ أنهار فى العالم (عن الموقع الإلكترونى .http://en.wikipedia.org):

| | | |
|---|---|---|
| ١- نهر النيل | ٦٦٩٠ كم | (مصر وتسع دول أخرى) |
| ٢- نهر الأمازون | ٦٤٥٢ كم | (الولايات المتحدة الامريكية) |
| ٣- نهر يانجتز (تشانج جيانج) | ٦٣٨٠ كم | (أطول أنهار الصين) |
| ٤- نهر المسيسبى | ٦٢٧٠ كم | (وسط الولايات المتحدة الأمريكية) |
| ٥- نهر أوب أرتيش | ٥٥٧٠ كم | (سيبيريا) |
| ٦- نهر هوانج هى | ٥٤٦٤ كم | (النهر الرئيسى فى الصين) |
| ٧- نهر أمور | ٤٤١٠ كم | (شرق سيبريا - روسيا والصين) |
| ٨- نهر الكنغو | ٤٣٨٠ كم | (وسط أفريقيا) |
| ٩- نهر لينا | ٤٢٦٠ كم | (شمال شرق سيبيريا) |
| ١٠- نهر ماكينزى | ٤٢٤٠ كم | (أطول أنهار كندا) |

### ب - رحلة النهر

## نهـــر النـيل

يقطع النهر العظيم رحلة هائلة تمتد نحو (٦٦٩٠) كيلو مترا، منذ أن يخرج من أقصى منابعه بوسط أفريقيا، حتى يصب فى البحر المتوسط.. ماراً ورابطاً بين عشر دول أفـريقية هى: مصر والســودان وأثيوبيا وأرتيريا وكينـيا وأوغندا وتانزانيا وزائير ورواندا وبوروندى..

هذه الرحلة الطويلة تتفاوت فيهـا المناطق المناخية من النقيض إلى النقيض.. فبينمـا يبلغ مستوى هبوط الأمطار فى مناطق المنابع إلى أعلى من «ألف» ملليـمتر فى السنة، فلا يزيد هذا المسـتوى فى وادى النيل المصرى عن «عشرة» ملليـمترات فى السنة..

ولذلك فلم تكن هناك مـشكلة مياه فى المناطق الجنوبـية للنهر، بينمـا كانت المشكلة الحقيقـية فى رحلة النهر نحو الشمال من وادى حلـفا حتى أطراف الدلتا، حيث لا يمكن الاعـتماد على المطر فى عمـليات الزراعة، وحيث تصـبح السيطرة على مجرى النيل وعلى مياهه، أمراً واجبـاً وحيوياً إلى أقصى حد.. ولذلك فقد كان لا بد على المصريـين الأوائل أن يتعلموا الحساب والكتـابة والهندسة ليتفـهموا النهر أكثر وأكثر، وليشتركوا معه فى تقدم الحضارة الإنسانية على وجه العموم..

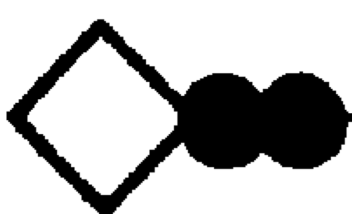
**المنبعان.. الأزرق والأبيض..**

والنيل الأزرق والنيل البيض نهران من طبـيعة مختلفة.. ولكن عليهـما معاً يعتمد النيل الرئيسى فى الحصول على مائه وقت الفيضان وطوال أيام السنة.

والمجرى الذى شـقه النيل الأزرق منذ خـروجه من بحـيرة «تانا» بمرتفـعات الحبشة حتى ملتقاه بالنيل الأبيض عند الخـرطوم، ظل على درجة كبيرة من الثبات والاستقرار النسبى عبر السنين.

أما النيل الأبيض، فقد تعرض عبر هذا الزمن لعديد من العوامل الجيولوجية التى جعلته يغـير مجراه عدة مـرات.. فقد حدثت بعض الانكسـارات فى القشرة الأرضية بوسط أفـريقيا، وتكون الأخدود الأفريقى العظيم، وتكون بســببه الواديان





الصدعيان بوسط القارة، كما تكونت المساحة الهائلة التى تشغلها الآن بحيرة فيكتوريا . .

وبعد استقرار القشرة الأرضية على هذا النحو، أخذت الكثير من أنهار المنطقة تشق طريقها نحو البحيرة لتزويدها بالمزيد من المياه، كما أخذت بعض الأنهار والنهيرات الأخرى تشق طريقها خارجة من البحيرة.

والمجموعة المائية التى نطلق عليها اسم النيل الأبيض تبدأ فى هذا المكان، عند خروج نيل فيكتوريا من بحيرة فيكتوريا.

إلا أن هناك نظرية ترجع منابع النيل العليا إلى منطقة «بوروندى» Burundi عند الحدود الشمالية لبحيرة تنجانيقا. وعلى أية حال فيمكن القول بصفة عامة أن مساحة المناطق التى يحصل منها النيل على مائه، تبلغ نحو ثلاثة ملايين كيلومتر مربع . . أى نحو عشر مساحة قارة أفريقيا بأكملها (مختار السويفى - مصر والنيل فى أربع كتب عالمية - الدار المصرية اللبنانية).

عندما شق النيل واديه فى شمال شرق أفريقيا، تجمع الإنسان حول شاطئيه على طول المجرى وفى مناطق دلتاه. وبدأ يتعايش مع النهر، ويصنع حضارة مستقرة تقوم على الزراعة والعلوم الرياضية والهندسية.

حتى أكثر الآثار الموغلة فى القدم والتى تركها لنا أوائل قدماء المصريين كانت لا تغفل النهر أبداً. وفى الغالبية العظمى للنقوش التى تم العثور عليها، حرص المصرى القديم على رسم النيل وقواربه وسفنه وأحراشه ونباتاته وزراعاته وأسماكه وحيواناته. كما أن نمط الحياة المصرية السائد فى مصر القديمة ومصر الحديثة على السواء، يدل بصفة قاطعة على أن المصريين يعرفون نهرهم تماماً، وأنهم درسوا أحواله دراسة مستفيضة متأنية، استمرت منذ الزمن القديم حتى أيامنا هذه.

بالرغم من بلوغ سكان شمال وادى النيل أعلى مراتب الحضارة المعروفة منذ آلاف السنين، إلا أن قدماء المصريين لم يعرفوا «على وجه اليقين» من أين يأتى النهر بمائه، ولا أين تقع منابعه الحقيقية. وأثبتت الآثار التى تركوها أنهم كانوا يقومون برحلات مستمرة إلى الجنوب الداخلى وراء النوبة. واستكشفوا النهر من





جنوب الخرطوم حتى منطقة السدود العظمى. وهناك استحال عليهم التقدم صاعدين إلى منابع النهر فى المنطقة الاستوائية.

**ج - رحلة النهر.. عبر الزمان..**

ولنهر النيل ذاتية خاصة أعطته معالم شخصية يتميز بها عن غيره من الأنهار الكبرى فى العالم. فهو يمتد من الجنوب إلى الشمال فى استقامة غير عادية من الناحية النسبية، رغم وضوح عدد من ثنيات النهر فى السودان ومصر.

وجريان النيل على هذا النحو من الجنوب صوب الشمال يعطيه صفة فريدة بين أنهار القارة الأفريقية التى تجرى غالباً من الغرب إلى الشرق أو من الشرق إلى الغرب، والتى تقع غالباً فى منطقة مناخية واحدة. . أما النيل فيبدأ رحلته عند خط عرض ٣,٥ درجة جنوب خط الاستواء، وتستمر رحلته عبر ٣٤ درجة من الخطوط العرضية حتى تنتهى عند المصبين فى خط عرض ٣١ درجة شمال خط الاستواء.

هذه الرحلة الطويلة أعطت للنيل صفة جوهرية أخرى يتميز بها، وهى مروره على مناطق مناخية مختلفة، تبدأ بالمناخ الاستوائى فالمدارى فالصحراوى وتنتهى بمناخ البحر المتوسط. وكل منطقة من هذه المناطق لها طبيعة نباتية وبشرية تميزها عن بقية المناطق الأخرى، ومع ذلك فهى تشترك جميعاً فى رباط واحد، هو هذا النهر العظيم الذى يتيح لسكانها الحياة، متمثلة فى الماء والطعام. .

وقد قطع النيل هذه الرحلة الطويلة عبر ملايين السنين حتى وصل إلى شكله وتركيبه الحالى. . ومن الحقائق الجيولوجية أن النهر لم يكن دائما فى شكله النهائى الذى نراه الآن. . بل غير النهر من شكله عدة مرات. .

ومن المعروف أن النيل قد غير مجراه عدة مرات بفعل عاملى النحر والترسيب. . وأن المجرى الرئيسى للنهر زمن بناء الأهرام كان أكثر قرباً نحو حافة الصحراء الغربية. . وكانت رأس الدلتا أيضا تقع فى مكان أقرب مما هى عليه الآن. . وكانت مياه النيل -خصوصاً وقت الفيضان- تصل إلى حافة هضبة منف التى أقيمت فوقها الأهرام.







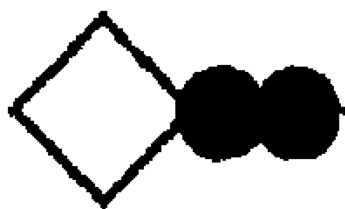
**منظر عام للأهرام والنيل وقت الفيضان**

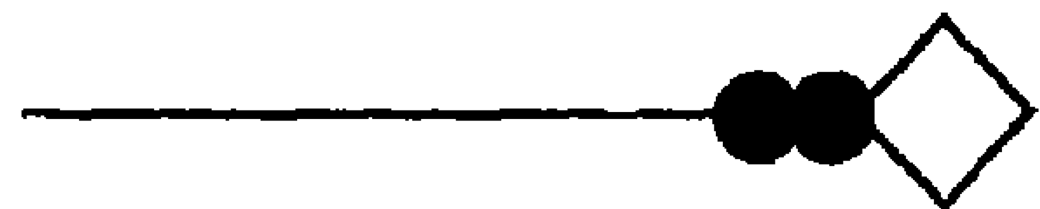
**د - وادى النيل:**

نهر النيل هو مـورد الماء الرئيسى لمصر، وهو قناة نقل الماء العذب الرئيـسية التى تحمـل الماء إلى الحقول. ويجـرى النهر من الحـدود المصرية السـودانية (وادى حلفا، خط ٢٢_ ش) إلى المصبات فى البحر المتوسط فى تدرج هين يقدر بحوالى متر واحد فى كل ١٢ كيلو مترا.

وكما ذكرنا سابقاً، يعتبر نهر النيل أطول أنهار العالم إذ يمتد حوالى ٦٦٩٥ كم من الجبال شـرقى بحيره تنجانيقا وحـتى البحر المتوسط وتقدر مـساحة حوض النهر بحوالى ٣٠٢٦٠٠٠ كم٢ (أكثر من ثلاثة ملايين كيلو متر مربع). وقد ارتبط نهر النيل فى أواخـر العهد البلسـتوسينى بالأنظمـة المائية فى النيجر وتشـاد خلال بحيرات ضحلة.

معـدل انسياب المياه فى نهـر النيل حوالى ٨١٠٠م٣ / ثانية. وقـد قدر أن ٨٤٪ من الميـاه التى تصل أسـوان تأتى من منابع إثيوبـيا (السـوباط والنيل الأزرق وعطرة) و١٦٪ من شرق أفريقيا الاستوائية (النيل الأبيض).





ولمجرى النهر جنوبى أسوان عدة سمات فريدة: (١) تكتنف مجرى النهر عند أسوان مجموعة من الجزر الجرانيتية (تعرف بالشلال الأول)، فى بعض هذه الجزر بقايا من الغابات النهرية كان لها انتشار واسع فى الماضى، واحدة من هذه الجزر محمية طبيعية. (٢) تمتد بحيرة خزان السد العالى (بحيرة ناصر) بتفرعاتها وامتداداتها فى مصبات الوديان ودلتاواها، ونشأت فى هذه الحواف بيئات وسط بين البيئة الصحراوية الجافة على جانب وبيئة الكتلة المائية على الجانب الآخر. هذه البحيرة الصناعية كيان بيئى ذو سمات خاصة. وإلى الشمال من القاهرة يتفرع النهر إلى فرع دمياط (شرقاً) وفرع رشيد (غربا) وهما زراعا الدلتا الممتدان، كان للدلتا فى الماضى فروع عديدة، وكان الفرع الشرقى (البليوزى) يصل إلى شاطئ سيناء والفرع الغربى (الكانوبى) يصل إلى قرب الإسكندرية. وفى شمال الدلتا عدد من البحيرات (مريوط - إدكو - البرلس - المنزلة - البردويل). هذه كتل من الماء غير العذب تتلقى مياه الصرف الزراعى من سائر مناطق مصر وتخرج فائضها إلى البحر. هذه البحيرات بيئات رطبة ذات أهمية دولية خاصة (الطيور المهاجرة) وهى مصايد أسماك ذات أهمية اقتصادية لمصر (عن منشورات جهاز شئون البيئة - ١٩٩٥).

تعتبر دلتا النيل محطة هامة لملايين الطيور المهاجرة، ويبلغ طول دلتا النيل حوالى ١٧٥كم واتساعها ٢٦٠ كم. ومنذ بناء السد العالى اختفى الفيضان وتلاشت معه مستنقعات عشب Cyperus papyrus .

الفيوم واحدة من منخفضات الصحراء الغربية، ولكنها تتميز عن المنخفضات الأخرى بأن لها صلة بنهر النيل عن طريق بحر يوسف، وهو فرع متعرج من النيل يقع فى مصر الوسطى. الفيوم واحة ذات طابع خاص، ويذهب صرفها الزراعى إلى بحيرة قارون، وهى بيئة ذات أهمية بيئية وتاريخية. وفى السنوات الأخيرة تم تنفيذ مشروع قناة صرف لتحمل فائض الصرف الزراعى للفيوم إلى منخفضات الريان الواقعة إلى الجنوب، وقد نشأ عن ذلك بحيرتان صناعيتان.

جيولوجية نهر النيل بالغة التعقيد، وتطوره التاريخى القديم يتضمن مراحل متوالية من عدد من أحواض الأنهار المنفصلة. على أن النهر بنظامه المائى الحالى

(الفيضان الصيفى واتصال الأنهار إلى نظام موحـد) يعتبر تطورا حديثا نسبيا حيث يرجع إلى ١٠-٢٠ الف سنة (التنوع الـبيـولوجى - دراسة عن مـصر - نشـرات الوحدة القومية للتنوع البيولوجى - جهاز شئون البيئة - مصر - ١٩٩٥).

**هـ - الثـروة البـيـولوجـيـة (الإحـيـائيـة) لنهـر النيل (عن منشورات جـهاز شـئون البيئة،١٩٩٥)؛ الأوليات (حيوانات وحيدة الخلية)؛**

رغم الدور الحيوى والهام الذى تقوم به الأوليات فى البيئة المائية، إلا أنها لم تجد الاهتمام الكافى من الدراسات والبحوث البيـئية فى مصر؛ ولذلك فإن معرفتنا عن الأوليات فى المياه العذبة بمصر تتمثل فى ثلاث شعيبات: اللحميات (سركودنيا Sarcodina)، السـويطات (Mastigophora)، والهـدبيـات (Ciliophora). والتى تنتشـر أنواعهـا بطول نهر النيل وروافـده كذلك معظـم بحيرات مـصر السـاحلية والداخلية.

**العجليات (الروتيفرا)؛**

تنتشر العجليات فى معظم المياه العذبة بمصر فى نهر النيل وروافده والمصارف والقنوات المائية، بالإضافـة إلى البحيرات الشمالية والداخلـية. والجدير بالذكر أن العجليات من أهم مكونات الهائمات الحيوانية (Zooplankton) فى المياه المصرية إذ تعتبر غذاء أساسيا للكثير من صغار الأسماك واليافعة منها. وقد تم تسجيل حوالى ١١٨ نوعا فى الميـاه المصرية. منها ٤ أنواع تم تسـجيلها فى معظم المجـارى المائية العذبة والبحيرات.

**الديدان الحلقية (الحلقيات)؛**

تنتـمى حلقيـات الميـاه العـذبة بمـصر إلى فـصيلتـين: قليـلات الأشـواك (Oligochacta)، والعلقـيات (Hirudinea)، ومن المعـروف أن الغالبـيـة العظمى لقليـلات الأشواك تقطن اليـابسة، وعـددا قليلا منهـا يعيش فى الماء وعلـى وجه الخصوص المياه العذبة. وبوجه عام يعتـبر معظم العلماء الحلقيات التى تعيش على اليابسة- والتى توجد دائما بالقرب مـن المياه العذبة أو فى تربة رطبة - من الأحياء





المائية. ومن المعروف أن ديدان الأرض تعمل على زيادة خصوبة التربة التى تعيش فيها بما تضيفه لها من إفرازات عضوية كما تعمل على تقليب وتهوية التربة. والديدان قليلة الأشواك التى تعيش فى المياه العذبة تقوم بدور هام فى تفتيت النباتات الخضراء وتحولها إلى كتل نباتية دقيقة تكون غذاء للكثير من الأحياء المائية.

**القشريات:**

إن أهم مجاميع القشريات التى توجد فى المياه العذبة تنتمى إلى مجموعتين رئيسيتين: متفرعة القرون (الكلادوسيرا Cladocera) ومجدافية الأقدام (الكوبيبودا Copepoda). وتعتبر الكلادوسيرا من أكبر مجاميع القشريات فى عدد الأنواع، حيث يكون التباين واضحاً فى الحجم والتركيب والبيئة، وهى تعيش أساسا بين الحشائش المائية، حيث تتعلق بالنباتات والطحالب.

وتوجد الكلادوسيرا فى بيئات المياه العذبة المختلفة كالأنهار والبحيرات والبرك والترع والمصارف وغيرها. وعادة تحتوى البحيرات والبرك عددا أكبر من الأنواع منها فى الأنهار. وقد وجد أن المناطق الضحلة الغنية بالحشائش المائية والتى تتميز بمستوى مياه ثابت فى البحيرات، تكون غنية فى عدد الأنواع. وثمة العديد من الأنواع التى توجد بالقرب أو فى الطين فى القاع، وإن كانت غير متأقلمة للمعيشة فى الطين. وقد وجد أن المنطقة الشاطئية من البحيرات الداخلية تحتوى على جماعات من الكلادوسيرا تكون ذات كثافات عالية فى الأفراد، ولكنها تحتوى على عدد محدود من الأنواع.

وتعتبر الكلادوسيرا ذات قيمة اقتصادية هامة فى سلسلة الغذاء فى المياه العذبة حيث أنها ومجدافية الأقدام من العوامل الهامة لتحويل الكائنات الدقيقة والطحالب صغيرة الحجم إلى غذاء مناسب للحيوانات المائية. وهى نفسها تستخدم كغذاء للأسماك فى أطوارها المبكرة.

وقد أمكن تسجيل ٤٣ نوعا من الكلادوسيرا (متفرعة القرون) تنتمى إلى ٢٣ جنسا، تقطن نهر النيل والبحيرات الشمالية والداخلية.





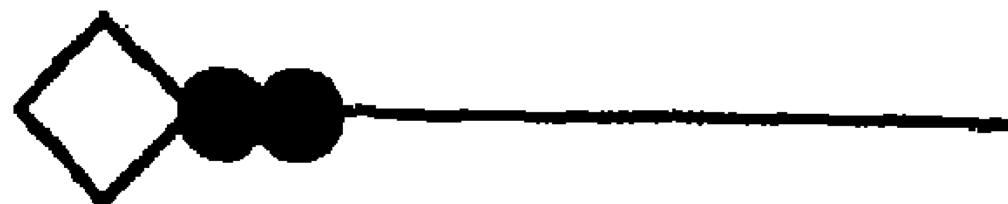
يعتبر حلم المياه العذبة جزءا هاما من الفونة المائية حيث يمكنه المعيشة فى أنواع متباينة من البيئات من برك ساكنة، إلى أنهار جارية حتى يمكن لبعض أنواعها أن توجد فى ينابيع المياه الحارة أو حتى البرك المتجمدة. ويعتبر الحلم الذى يعيش سواء فى المياه العذبة أو حتى على الشواطئ المائية كلها أنواعا مائية. ومن الجدير بالذكر أن معظم أنواع الحلم تتطفل علي الكائنات الأخرى على الأقل خلال بعض أطوارها اليرقية، وإن لم تقض كل دورة حياتها متطفلة.

والكثير من يرقات الحلم تتطفل على الحشرات والرخويات ذات المصراعين، والأسفنج والأسماك وغيرها. كما أن العديد من أنواع الحلم ترتبط بيولوجيا ببعض أنواع الرخويات: مثل نوعى الصدف يونو Unio والأنودونتا Anodonta (وهما نوعان شائعان فى المياه العذبة المصرية) حيث تكون تلك الأنواع المكان المناسب لوضع بيض بعض أنواع الحلم التى يتم فيها نمو الأطوار اليرقية الأولى غير الناضجة. ومع ذلك فإن طور الحورية لمعظم أنواع حلم المياه العذبة يكون طليقا يتغذى على الحيوانات الأخرى.

**الرخويات (ذات المصراعين، والقواقع):**

تعتبر رخويات المياه العذبة فى مصر من أهم مجموعات الحيوانات المائية التى تمت دراستها منذ وقت طويل، حيث تناولت الدراسات الكثيرة العديد من النواحى البيولوجية لرخويات المياه العذبة، وعلى وجه الخصوص أنواع الرخويات التى تعمل كعائل وسيط لمرض البلهارسيا مثل نوع البولينوس Bulinus sp. والبيومفولاريا Biompholaria spp.، وكذلك نوع ليمنيا Lymnaea الذى يعمل كعائل وسيط للدودة الكبدية فى الماشية والأغنام، وفى السنوات الأخيرة فى الإنسان. وتنتشر الرخويات على طول مجرى نهر النيل فى مصر وكذلك فى البحيرات الساحلية والداخلية والترع والمصارف. وهى تفضل المعيشة بين النباتات المائية وفى القاع الطينى.

أما طائفة ذوات المصراعين Bivalvia فى المياه العذبة المصرية، لم تلاق نفس الاهتمام فى الدراسة مثل البطنقدميات، ومعرفتنا عنها قليلة، وربما يرجع ذلك إلى





عدم أهميـتها من الناحيـة الاقتصادية أو الطبـية. وقد أمكن تسجـيل ١٣ نوعا من ذوات المصراعين التى توجـد فى نهر النيل والترع والمصارف وبحيـرات المياه العذبة الداخلية.

**الأسماك العظمية:**

لقد تعرض نهر النيل فى العقود الأخيرة من القرن العشرين إلى تغيرات بيئية ملحوظة، أدت التى تغيرات جذرية فى صفاته الطبيعـية والكيميائية مما سبب تغيرا فى نظامه البيئى وانعكس ذلك على التغـيرات فى التنوع البيولوجى للأحـياء التى تعيش فيـه. وفى مصر أدى بناء السد العـالى فى منتصف الستينيـات إلى تغيرات جذرية فى النهـر، كما تسببت النهضة الصناعـية التى تمثلت فى إقامة الكثـير من المصانع على ضفاف النيل إلى تلوثه المستمر، بالإضافة إلى تكثيف الصرف الصحى والزراعى مما كان له أكبر الأثر فى التغيرات فى نوعية المياه وكذلك فى الأحياء التى تعيش فـيه. كما أدت ممارسـة الرى المستديم ومنع ميـاه الفيضان من غـمر أراضى الحياض التى كـانت تعتبر من أهم مـراعى الأسماك النيلية حيـث الظروف مناسبة والغذاء وفير للكثير من أنوع الأسـماك النيلية، كل ذلك أدى إلى تغيرات فى فونة النيل (مجـموعة الحـيوانات التى تعـيش فى مجرى النهـر أو ترتبط به) وبالأخص الأسماك العظمية من أنواع تناسب المياه الجارية إلى أنواع يمكنها أن تعيش فى مياه ذات سرعة بطيـئة وهو الحال فى النيل وكانت نتيـجة تلك التغيرات اختـفاء أعداد كبيرة من الأسماك النيلية والتى أصبحت نادرة ولا توجد إلا فى جنوب بحيرة السد العـالى. بينما أنواع أخـرى من الأسـماك قـد حدث لهـا انخـفاض ملمـوس فى مصائدها.

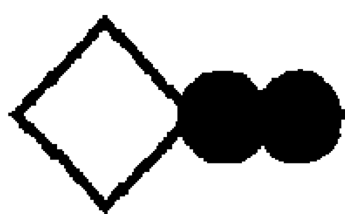
وقد كـان بولينجـير ١٩٠٧ Boulenger أول من أجرى دراسـة كاملة على الأسماك النيـلية فى مصر حيث ذكـر أن العالم لوت Loat هو أول من سجل ٨٥ نوعا من الأسـماك التى تعـيش فى النيل فى مصر. أمـا الأنواع التى تم تسجـيلها حاليا فهى ٧٠ نوعا تقع تحت ١٦ فصيلة، ٤٩ جنسا. وأن ٧٠٪ من الأنواع تنتمى إلى ثلاث فصائل هى: البلطية Characindae، الشبوطية Cyprindae، السيلورية

(القطية) Siluridae. وقد وجد أنه من بين الـ٨٥ نوعاً من الأسـماك العظمية التى تم تسجـيلها فى أوائل القـرن الحالى. أن هناك ١٥ نوعـا قد انقرضـت ولـم يسجل وجودها منذ ٥٠ عاما على الأقل. بالإضافة إلى أنه بسبب تغير طبيعة النهر بسبب إنشاء السدود فـقد أصبحت معظم الأسمـاك النهرية (والتى تناسبها طبيـعة الأنهار سريعة الجريان) وعـددها ٥١ نوعا قد أصبحت نادرة ولا تمثل إلا نسبـة ضئيلة من الأسماك. وعمـوماً فإن عدد الأنواع الشائعـة هى ١٥ نوعا وهى التى تتكون منها النسبة العالية للمصـيد من الأسماك. وأن الأسماك البلطية (Cichlids) ومنها أربعة أنواع مسجلة فى نهر النيل وهى البلطى النيلى Oreochromis niloticus، والبلطى الجـاليلى Sarotherodon Galilaeus، والبلطى الأخـضـر Tilapia zillii، والبلطى الحسائى (الأبيض) Oreochromis aureus، وهى التى تمثل أعلى نسبـة من المصيد من المياه الـعذبة والبحـيرات الداخليـة. ويساهم البلطى النيلى بـحوالى ٣٥٪ من المصيد الكلى للمياه الداخليـة. وخلال عام ١٩٩٣ ساهم هذا النوع بحوالى ٥٠، ٧٠، ٦٥، ٧٣، ٦٨٪ من المصيـد الكلى لنهر النيل، وبحيـرات المنزلة، وناصر، ومريوط ووادى الريان على التوالى. ومن الجـدير بالذكر أن نوع البلطى النيلى فى بحيرات المنزلة وناصر هو سلالة نقية وقد استقدمت فى كثير من دول العالم لما لها من صفات فريدة سواء فى معدل النمو، أو التوالد.

**الزواحف والبرمائيات:**

إن الزواحف والبرمائيات ليـست ممثلة بالعديد من الأنواع فى النيل. فقد تم تسـجـيل ٤ أنواع من الزواحف المائيـة التى تنتـمى إلى ٤ فـصـائل. ثلاث منهـا أصبحت نادرة، بينما نوع واحد وهو الترسة النيلية قد اختفى تقريبا.

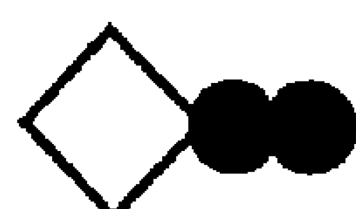
وقد تم تســجيل ٧ أنواع من البـرمائيـات تنتمى إلى ٣ فصـائل، ٤ أجناس هى: البوفو Bufo، الرانا Rana، الهيلا Hyla، البتيكدنا Ptychadena. ثلاثه من هذه الأنواع هى الأكثـر شيوعا بينمـا الأربعة الأخرى نادرة (المعلومات عـن جهاز شئون البيئة - ١٩٩٢، ١٩٩٥).

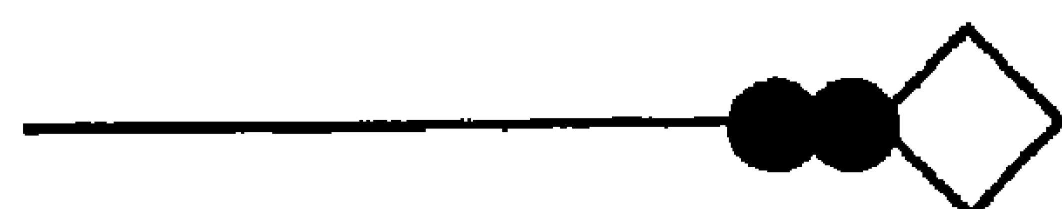




جدول (٥): حيوانات المياه العذبة فى مصر (جهاز شئون البيئة - ١٩٩٥)

| | عدد العائلات | عدد الأجناس | عدد الأنواع | الوضــع: شائع | نادر | منقرض |
|---|---|---|---|---|---|---|
| الأوليات | ٦٤ | ٨٩ | ١٤١ | ٤٢ | ٩٩ | - |
| العجليات | ١٥ | ٤٣ | ١١٨ | ؟ | ؟ | - |
| الحلقيات | | | | | | |
| قليلة الشواك | ٧ | ١٤ | ٢٢ | ١٤ | ٨ | - |
| العلقيات | ٤ | ٩ | ١٩ | ٨ | ١١ | - |
| القشريات | | | | | | |
| كلادوسيرا | ٧ | ٢٣ | ٤٣ | ؟ | ؟ | - |
| كوبيبودا | | ٣١ | ٤٧ | ؟ | ؟ | - |
| الحلم | ٣٧ | ٥٣ | ٤٨ | ؟ | ؟ | - |
| رخويات البطن قدميات | ١٣ | ٢٢ | ٢٨ | ١٦ | ١٢ | - |
| ذوات المصراعين | ٤ | ٨ | ١٣ | ٨ | ٤ | ١ |
| أسماك عظمية | ١٦ | ٤٩ | ٨٥ | ١٥ | ٥٥ | ١٥ |
| برمائيات | ٣ | ٤ | ٧ | ٣ | ٤ | - |
| زواحف | ٤ | ٤ | ٤ | - | ٣ | ١ |





### و - نهر النيل - المصدر الرئيسى للمياه فى مصر:

يعتبر نهـر النيل المصدر الرئيسى لمياه الشرب والرى فى مصـر حيث يمد نهر النيل مصر بأكثـر من ٥٥ بليون متر مكعب سنوياً أما المياه الجوفيـة فتعطى حوالى ٢,٥ بليون متر مكعب سنوياً، من النسبة الأخيرة (٢,٥ بليون متر مكعب) حوالى ٢ بليون متر مكعب يصل إلى المياه الجوفيـة من خلال النيل، وبصفة عامة فإن نهر النيل يمد مصر بحـوالى ٩٨٪ من احتياجاتها من الماء، ومع ارتفاع اسـتهلاك المياه سوف تضطر مـصر إلى الاعتمـاد على مصادر غـير متجـددة (المياه الجوفيـة) لسد احتيـاجاتها أو لتحلية مـياه البحر وهذه التقنـيات عالية التكلفة (منشـورات جهاز شئون البيـئة عام ١٩٩٢) ومن ثم فإن المصادر المتجددة حـاليا (نهر النيل) يجب أن تدار بحذر شديد وبأسلوب علمى حتى تتواءم مع الزيادة فى احتياجات الماء.

إن مصر تعتمد تماما على ماء النيل، ومن ثم فإنها تستخدم نفوذها الإقليمى لإيقاف أى تهديد يمس نصيـبها من المياه (Singh et al, 1999 Ecosystem Health ٥: ٢٦٥-٢٧٤).

والجدول التالى (جدول ٦) يوضح تزايد الاستهلاك لمياه النيل.

*جدول (٦) الاستخدام السنوى للمياه (مليون متر مكعب سنوياً)*

*(عن منشورات جهاز شئون البيئة عام ١٩٩٢).*

| كم الماء المستخدم من النيل (أكثر من (٩٨٪) | السـنة | | |
|---|---|---|---|
| | ١٩٨٠ - ١٩٨٦ | ١٩٩٠ | ٢٠٠٠ |
| الاستخدام | ٥٧,٤ | ٥٤ | ٥٧,٥ |
| الصناعة | ٠,٤ | ٠,٧ | ١,٨ |
| استخدام منزلى | ١,٨ | ٢,٤ | ٣,١ |
| الزراعة والبخر | ٣٥,٨ | ٣٦,٨ | ٤٥,٩ |
| ماء مـهدر (البحـر) وصرف غير معالج | ١٩,٤ | ١٤,١ | ٦,٩ |

### قياس جودة المياه

يتم ذلك عن طريق عدة جهات لا يوجد بينها تنسيق تام (منشورات جهاز شئون البيئة عام ١٩٩٢) ومنها المركز القومى للبحوث، وزارة الصحة، مركز بحوث المياه الجوفية.

**ز- حالة المياه فى نظام نهر النيل:**

**بحيرة ناصر:** طبقاً لأحد تقارير جهاز شئون البيئة تعتبر مياه بحيرة ناصر جيدة، وتجدر الإشارة إلى أن حماية نهر النيل من التلوث يجب أن تبدأ من بحيرة ناصر حيث إن جودة مياه النهر تعتمد على جودة مياه بحيرة ناصر التى تصل خلال السد العالى. وبالرغم من أن بحيرة ناصر تعتبر جيدة بصفة عامة إلا أن إدارتها ضرورية بشكل علمى، فعلى سبيل المثال يصل عمق البحيرة فى بعض الأجزاء إلى ١٣٠ مترا وهذا العمق يؤدى إلى ضعف نسبة الاكسجين فى الطبقات العميقة من الماء حتى يصل تركيز الاكسجين إلى صفر فى بعض الأعماق، وتلك الحالة تعرف بأنها حالة «لا هوائية» تسمح بنمو كائنات ميكروبية غير مرغوبة ولتلافى ذلك يجب ضرورة الحفاظ على أن لا تتعدى المواد العضوية والمغزيات نسب معينة فى البحيرة.

**مياه نهر النيل:** ذكرنا سابقا أن كفائة مياه النهر ترتبط بشكل مباشر بكفاءة مياه بحيرة ناصر، ومن القياسات المستخدمة لتحديد درجة تلف المياه: درجة الحرارة، درجة تركيز أيونات الهدروجين (الأس الهدروجينى)، نسبة الأكسجين الذائب، النسبة الكلية للأملاح المذابة، الجزيئات المعلقة، الفوسفات، النترات، الأمونيا، درجة التعكير، والزئبق والمواد الصلبة، (BOD- Biochemical oxygen demand) وهو كم الأكسجين الذى سوف يستخدم إذا تمت أكسدة جميع المادة العضوية فى حجم معين من الماء بواسطة البكتيريا والكائنات الأخرى، (Chemical Oxygen Demand-COD)، وغير ذلك.





## مصادر تلوث مياه نهر النيل:

**مخلفات الصناعة:** يوفر نهر النيل ٦٥٪ من احتياجات الماء للصناعة، ويستخدم النشاط الصناعى فى القاهرة والإسكندرية حوالى ٤٠٪ من تلك الكمية ويستقبل نهر النيل حوالى ٥٧٪ من مخلفات المياه الصناعية (منشورات جهاز شئون البيئة عام ١٩٩٢). وقد ذكر أحد تقارير جهاز شئون البيئة عام ١٩٩٢ أن إجمالى كم (BOD) الذى ينتج عن الصناعة يبلغ ٢٧٠ طنا/يوميا وتلك الكمية تعادل فضلات مائية غير معالجة لستة ملايين فرد، ويعذى الكم الكبير من مخلفات (BOD) الناتج من الصناعات الغذائية إلى مصانع السكر الواقعة بين أسوان والقاهرة حيث قدر عام ١٩٨٠ أنها تلقى كمًّا من (BOD) يعادل ٤٩٠ طنا يومياً، ومن أهم المناطق الصناعية التى تؤثر بشكل مباشر على النيل:

- مصانع كيما.
- مصانع السكر فى كوم أمبو، أدفو، قوص، دشنا، نجع حمادى.
- مصانع الزيوت والصابون فى سوهاج.
- مصانع تجفيف البصل بسوهاج.
- مصانع الأسمنت والأسمدة فى أسيوط.
- المنطقة الصناعية بحلوان وجنوب القاهرة، ومصانع الكيماويات والحديد والصلب والغزل والنسيج.
- المناطق الصناعية بشبرا الخيمة وأبو زعبل.
- المنطقة الصناعية بكفر الزيات والتى تنتج الأسمدة والكيماويات.
- مصانع الإسكندرية والتى تصب فى ترعة المحمودية وبحيرة مريوط.

**مخلفات الزراعة:** تبلغ مساحة الأراضى المنزرعة فى مصر أكثر من ٧ مليون فدان وتحتوى مياه الصرف الزراعى على بقايا المبيدات والأسمدة وتصل تلك





المخلفات عن طريق دورة المياه المعروفة فى الطبيعة إلى مياه النيل والبحيرات وأيضاً المياه الجوفية حيث تتسرب المبيدات وبقاياها الذائبة فى مياه الصرف الزراعى إلى الأنهار والترع والمياه الجوفية (محمد محمد الشاذلى، على على المرسى ٢٠٠٠).

**المواصلات النهرية:** تؤثر عمليات النقل البحرى والأنشطة السياحية على كفاءة مياه نهر النيل (جدول ٧) بالرغم من أن التلوث الناتج عن عمليات النقل أقل من التلوث الناتج عن مخلفات الزراعة والصناعة إلا أن الاستخدام المتزايد لوسائل النقل النهرى للانتقال والترفيه سوف يؤدى إلى الإضرار بمياه النيل، وتجدر الإشارة إلى ضرورة معاملة مخلفات السفن، كما أن بعض الحوادث النهرية المفاجئة يمكن أن تحدث مستويات عالية من التلوث.

**جدول (٧)**

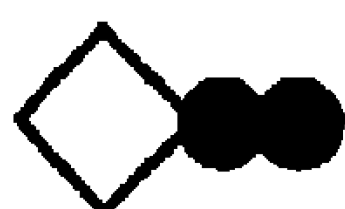
***استخدام النيل للنقل والرفاهية (عن منشورات جهاز شئون البيئة١٩٩٢)***

| الاستخدام | عدد الوحدات |
|---|---|
| سفن ومراكب للسياحة والرفاهية (الأقصر وأسوان غالبا). | ٢٥١ |
| قوارب نقل عام. | ٣١٣٨ |
| سفن للنقل التجارى. | ١٨٩٣ |
| قوارب شراعية. | ٤٠٠٠ |
| عائمات (منازل عائمة على النيل). | ٣٦ |
| الإجمالى. | ٩٣١٨ |

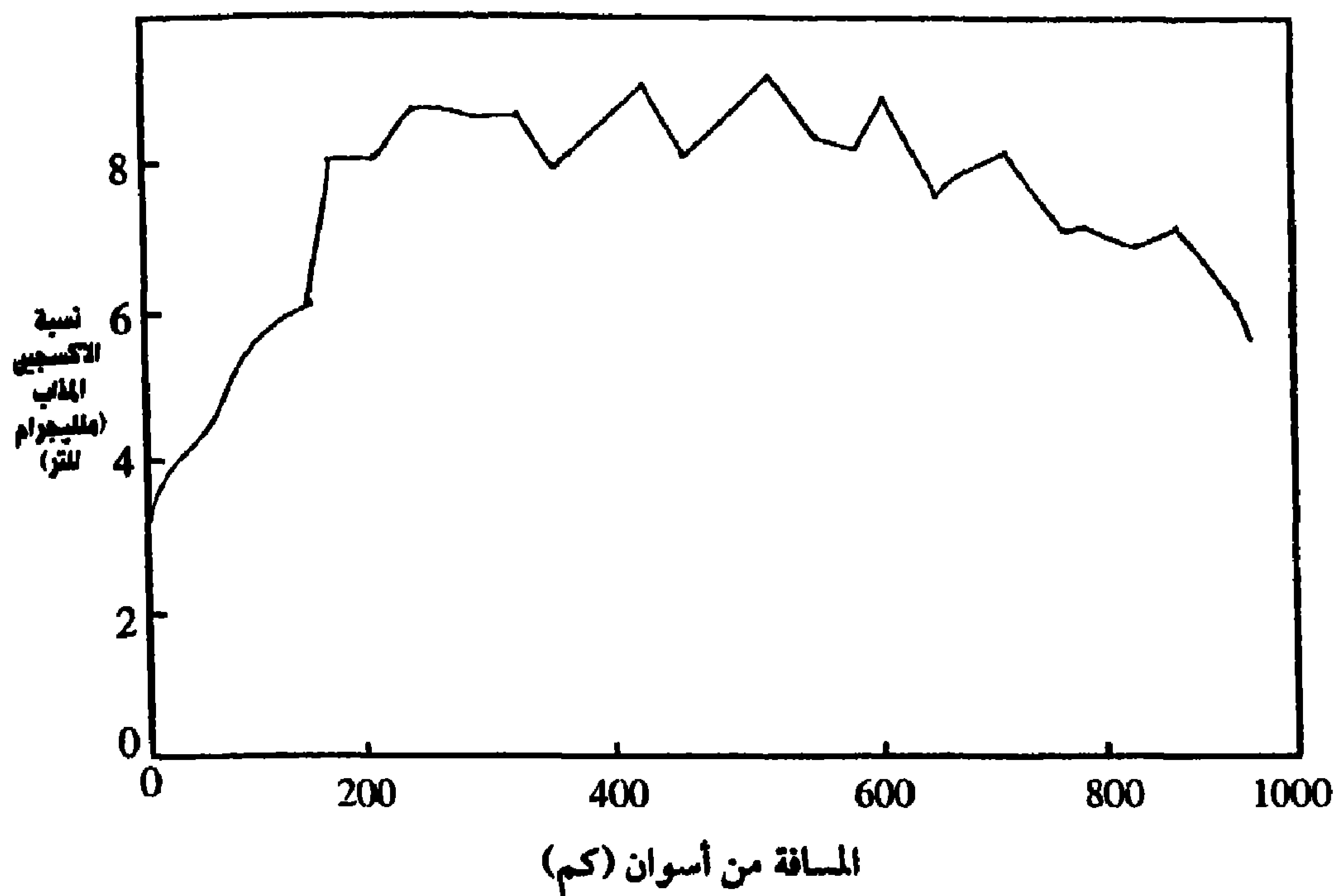
وقد لاحظ العديد من البـاحثين أن درجة التلوث ترتفع فى مـياه النيل كلما اتجهنا شمالا، ويوضح شكل (١) أن نسبـة الأملاح المذابة تقل عن ١٥٠ ميللجرام للتر عند أسوان وترتفع لأكـثر من ٢٠٠ ميللجرام للتر على بعد ١٠٠٠ كـيلو متر من أسوان، أما جـدول (٨) فيؤكد على أنه فى عام ١٩٨٩ فـاز نهر النيل بنصيب الأسد من المخلفـات الصناعية السـائلة كما أوضح جـهاز شئون الـبيئة فى مـصر (EEAA).

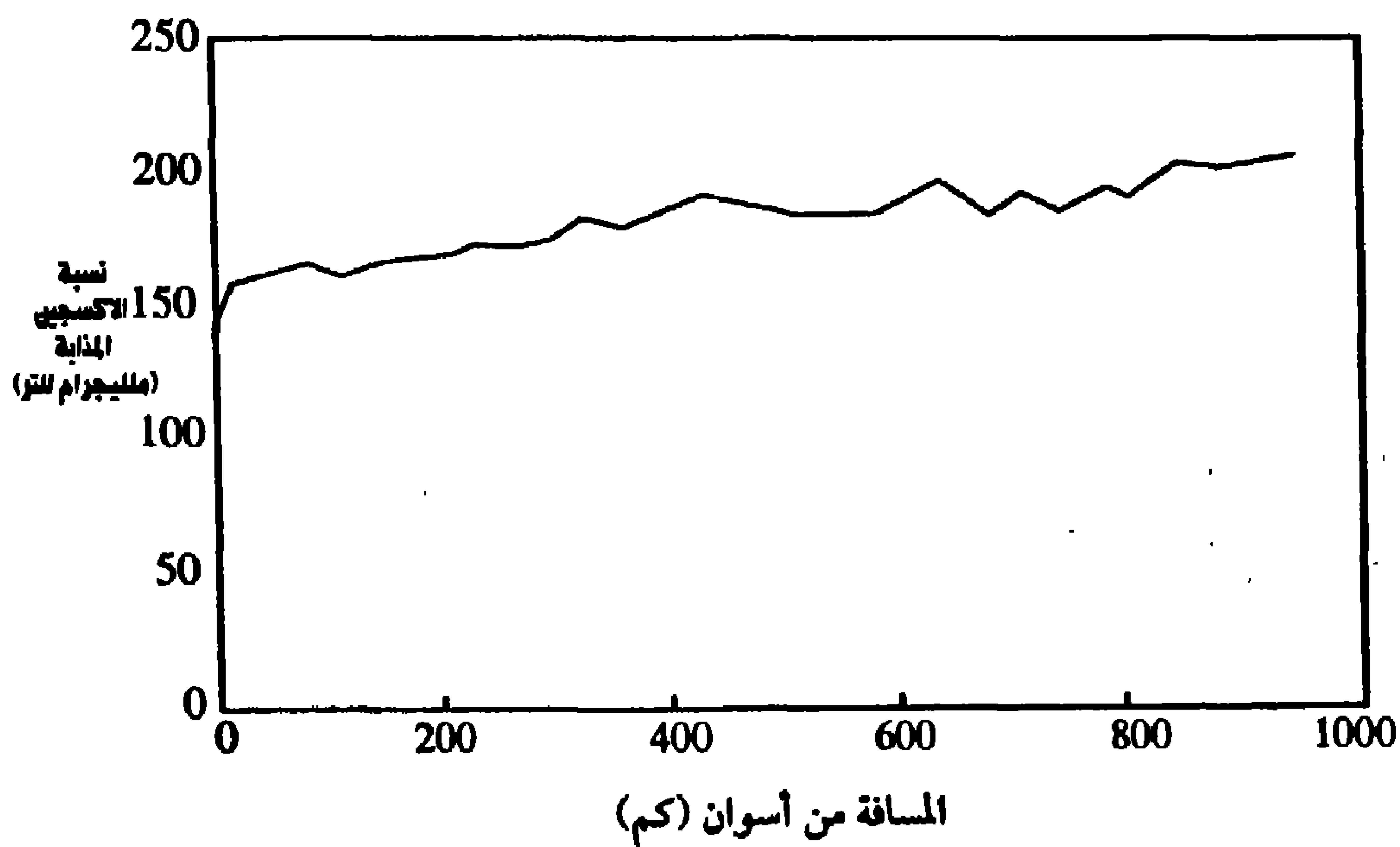
***جدول (٨) أماكن التخلص من المخلفات السائلة عام ١٩٨٩ (الأرقام مقدرة بمليون متر مكعب سنويا -عن جهاز شئون البيئة - ١٩٩٢، ١٩٩٣).***

| المنطقة | نهر النيل | الترع والقنوات | قنوات الصرف | البحيرات | الإجمالى | عدد المصانع |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مصر العليا | ١٩٢ | ٥ | ٢ | ٥ | ٢٠٤ | ٣٥ |
| القاهرة | ٨٠ | ٢١ | ٢٠ | ٧ | ١٢٨ | ١٢٦ |
| الدلتا | ٢٧ | ٨٥ | ١٣ | ١ | ١٢٦ | ٦٠ |
| الإسكندرية | ١٣ | ٧ | ٣٣ | ٣٥ | ٨٨ | ٨٥ |
| محافظات أخرى | ٠ | ٠ | ٣ | ١ | ٤ | ٢٤ |
| الإجمالى | ٣١٢ | ١١٨ | ٧١ | ٤٩ | ٥٥٠ | ٣٣٠ |








**شكل (٤): تغير نسبة الأكسجين المذاب وارتفاع نسبة الأملاح الذائبة فى مياه نهر النيل مع الابتعاد عن أسوان (عن جهاز شئون البيئة عام ١٩٩٢).**

ويعطي جدول (٩) مثالا على التلوث بالمخلفات الصناعية.

***جدول (٩): مخلفات المياه الصناعية وحمل التلوث الناتج منها (طن يوميا): عن جهاز شؤون البيئة عام ١٩٩٥.***

| المنطقة | معدل انسياب | BOD | COD | زيوت | SS | TDS | HM |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| مصر العليا | ٢٠٤ | ٧٢ | ٣٧ | ٥ | ٦٨ | ٥٣٢ | ٠,٢٠ |
| القاهرة | ١٢٨ | ٧١ | ١٢٠ | ٩٣ | ٩٧ | ١٣٥ | ٠,٧٥ |
| الدلتا | ١٢٥ | ٣٤ | ٤٢ | ٢٤ | ٨٦ | ٢٢٤ | ٠,٥٠ |
| الإسكندرية | ٨٨ | ٩١ | ١٨٦ | ٤٥ | ٤٠ | ٢٤٦ | ٠,١٧ |
| محافظات أخرى | ٥ | ٢ | ٣ | ١ | ٥ | ١٥ | ٠,٠٣ |
| إجمالى | ٥٥٠ | ٢٧٠ | ٣٨٨ | ١٦٨ | ٢٩٦ | ١١٥٢ | ١,٦٥ |
| صناعة | معدل انسياب | BOD | COD | زيوت | SS | TDS | HM |
| كيميائية | ٩٨ | ٢٦ | ١٧٨ | ٢٣ | ٣٣ | ٢٤١ | ٠,٩٤ |
| غذائية | ٢٧٧ | ١٨٢ | ١٤٢ | ١١٠ | ١٦٨ | ٦٦٦ | ٠,١٧ |
| غزل ونسيج | ٨٨ | ٣٩ | ٤٧ | ٢٤ | ٦٤ | ١٩١ | ٠,٣٠ |
| هندسة | ١٢ | ٥ | ٧ | ٢ | ٣ | ١٣ | ٠,٠٣ |
| مناجم | ٦٠ | ١٥ | ١٤ | ٨ | ٢٤ | ٢٩ | ٠,٢٠ |
| معادن | ١٤ | ٣ | ٠ | ١ | ٤ | ١١ | ٠,٠١ |
| إجمالى | ٥٤٩ | ٢٧٠ | ٣٨٨ | ١٦٨ | ٢٩٦ | ١١٥١ | ١,٦٥ |

جزيئات معلقة:SS أكسجين كيميائى :COD أكسجين بيولوجى:BOD

مواد صلبة (عسرة لا تذوب فى الماء) :HM إجمالى الأملاح المذابة :TDS





**البقع السوداء (Black spots):**

حددت إحدى دراسات جهاز شئون البيئة مجموعة من البقع السوداء فى مصر وهى مناطق شديدة التلوث وتلك البقع هى:

١) بحيرة مريوط التى تعانى من تلوث حاد بسبب المخلفات الزراعية والصناعية ومخلفات الصرف الآدمى.

٢) بحيرة المنزلة والتى تقع تحت خطر شديد نتيجة تراكم عناصر المعادن الثقيلة بالرغم من استخدامها للصيد.

٣) منطقة شبرا الخيمة والقليوبية والتى تعانى من مخلفات صناعية غير معالجة.

٤) مناطق شرق القاهرة.

٥) غرب القاهرة وخاصة مناطق زنين وأبو رواش.

٦) فرع دمياط حيث يذكر تقرير جهاز شئون البيئة تدهور مستوى مياه النهر بدرجة عالية نتيجة المخلفات الصناعية ومخلفات المناطق السكنية ومخلفات الصرف الزراعى (على الأخص منطقة زفته).

٧) فرع رشيد وبخاصة منطقتى كفر الزيات حتى إدفو نتيجة مخلفات الصرف الزراعى من مبيدات وأسمدة بالإضافة إلى مخلفات الصناعة التى تصل إلى مجرى النهر.

**(١) التلوث الميكروبى (البكتيرى):**

نتيجة لضعف المعالجة ارتفع تركيز الكثير من أنواع البكتيريا الضارة فى نهر النيل وفرعيه وترتفع نسبة البكتيريا فى نهر النيل بشكل ملحوظ عن النسبة المسموح بها عالميا وتلك البكتيريا المرضة يمكن أن تسبب العديد من الأمراض للإنسان، ويرى علماء البيئة ضرورة معالجة مياه الصرف بشكل كاف حتى لا ترتفع معدلات البكتيريا المرضة فى مياه نهر النيل.





**(٢) المبيدات الحشرية:**

تم رصد تركيزات عالية من المبيدات الحشرية فى النيل وفرعيه، وعلى سبيل المثال تجاوز تركيز مبيد الـ DDT ومبيد اللندان عشرة أضعاف النسب المسموح بها فى بعض الدول الأوروبية، ومع زيادة النشاط الزراعى يتوقع أن ترتفع تركيزات تلك المبيدات فى المستقبل، وفضلا عن أضرار المبيدات الناتجة عن استخدام المياه فى الشرب، فإنها تتراكم فى أجسام الأسماك التى تتغذى عليها حيث يرتفع تركيزها فى سلاسل الغذاء حتى تصل إلى أعلى تركيز فى الأسماك التى تستعمل كغذاء فيما يعرف بظاهرة التعاظم البيولوجى (محمد محمد الشاذلى ٢٠٠٠). ويتطلب علاج تلك المشكلة مراجعة أنواع المبيدات المستخدمة فى مصر والبحث بشكل جاد عن حلول بديلة لمقاومة الآفات.

**٣) المعادن الثقيلة:**

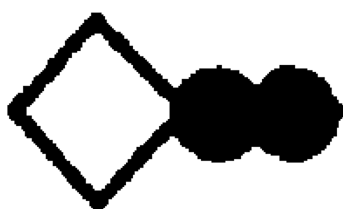
تم تسجيل تركيزات عالية من المعادن الثقيلة (أضعاف النسب المسموح بها عالميا) فى فرعى النيل وخاصة قرب الإسكندرية وبحيرة المنزلة حيث أوضحت الدراسات أن الكادميوم والنحاس والزنك أعلى من النسب المسموح بها عالميا. كما سجلت أيضا نسب عالية من الزئبق فى الإسكندرية.

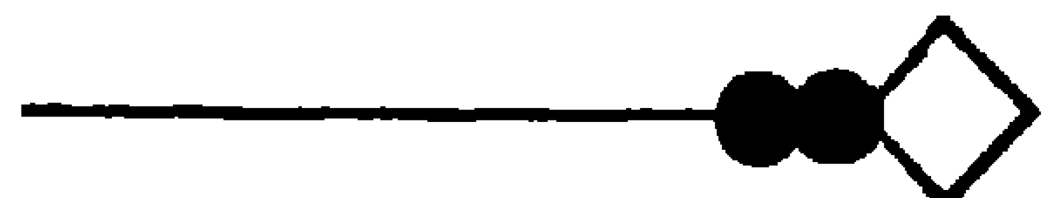
**٤) الصحة العامة:**

سجل عدد كبير من اللأمراض الناتجة عن شرب مياه غير نقية فى مصر، ومن المعروف أن الملوثات والسموم مثل المعادن الثقيلة والمبيدات تؤثر بشكل مباشر على صحة الإنسان.

**الحد من التلوث وآثاره:**

يوجد فى مصر وزارة وجهاز لشئون البيئة، وقد وضعت العديد من القوانين التى تكفل حماية نهر النيل من التلوث، كما توجد أيضاً التشريعات التى تكفل مراقبة جهاز شئون البيئة ووزارة البيئة، كما أن هناك العديد من الإجراءات لمراقبة النهر ورصد حالته بشكل مستمر، ولكننا نؤكد على أن القوانين لا تطبق فى جميع الأحوال وعلى أن بعض التجاوزات مستمرة. إن الجيل الحالى هو المسئول عن





تسليم نهر نظيف للأجيال القادمة، فنحن الذين أسأنا إلى النهر، فالنشاط الصناعى وتعاظم استخدام المبيدات والتوسع السياحى والعمرانى غير المخطط قد بدأ بالأمس القريب، منذ حوالى ٥٠ عاما فقط. إن عـدم تطبيق القوانين بكل حسم مع جميع المنشآت الصناعيـة والسياحية وبلا استـثناء والحد من استخدام المبيـدات غير الآمنة التى تتسرب إلى مياه النهر قد يؤدى إلى أضرار بيئية من الصعب معالجتها، وأخيراً نرجو أن لا يكون الفـساد قد تسـرب إلى ماء النيل حـاملا معـه كوارث بيئـية لا تستطيع أن تتحملها الأجيال القادمة.

**ارتفاع مستوى البحر:**

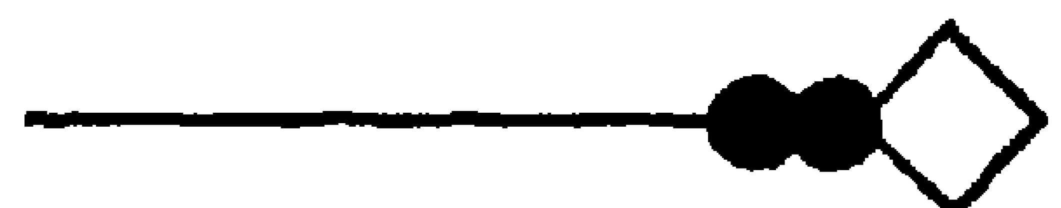
نظراً لتغـير مـناخ الكرة الأرضـية فقـد تنبـأ بعـض الباحـثين (El-Raey et Environmental monitoring and assessment 47: 59-77) بأن ارتفـاع مسـتوى سطح البحـر لمسافة ٥٠ سم سوف يؤدى إلى تغطيـة المياه لمقدار ٢٦٪ من مـساحة رشـيد. ، هناك جـهـود تبذل لمنع تآكـل حواف النهـر عن طريق تبطين الجـوانب بالصخور (Baha El Din, 1999- Palm Press, Cairo Egypt).

**السد العالى وبحيرة ناصر**

تعتمد مصـر، كما ذكرنا سابقاً، اعتمادا أساسـيا على مياه النيل، وقبل بناء الســد العالى فى أسـوان كان مـاء الفيـضان الذى قـد يصل إلى آلاف الملايين من الأمتار المكعبة من الماء سنويًا، وقد توقف الفيضان فى منتصف الستينيات مع إتمام مشروع السـد العالى، حيث أمدت بحيرة ناصر مصر بأكثر من ٤٠٪ من احتياجاتها من الطاقة الكهربائية.

تعتبـر بحيرة ناصر أكبـر بحيرة صناعية فى العـالم، وتقع بين خطى عرض ٢٢ْم و٢٣,٥٨ْم شمالا فى مصر وتمتد فى الحـدود السودانية حتى خط عرض ٢٠ْ شمالا. ويبلغ إجمالى مـساحة البحيرة حوالى ٥٠٠٠ كيلو متـر مربع وتمتد لمسافة ٥٠٠ كيلو متر جنوبا داخل حـدود السودان. وتبلغ الطاقة التخزينية لبـحيرة ناصر نحو مائة وستين ألف مليون متر مكعب مـن الماء (أكثر من مليار ونصف المليار متر مكعب من الماء). وصلت بحـيرة ناصـر إلى كـامل طاقتـها التـخزينيـة فى بداية الثمانينيات وحـمت البحيرة والسد العالى مصر من الجـفاف (عن منشورات جهاز





شئون البيئة) حيث أمدت البحيرة مصر بكامل احتياجاتها من مياه الشرب والرى والصناعة وغيرها من الاستخدامات خلال سنوات الجفاف، ومن ثم فإن مشروع السد العالى هو أعظم إنجازات القرن العشرين التى تمت فى مصر. إن مشروع السد العالى يعتبر إنجازاً قوميا بجميع المقاييس إذا ما قورن بإنجازات دول غيرنا فى مجالات التكنولوجيا النووية أو تكنولوجيا الفضاء أو غيرها، حيث كان السد هو الدرع الواقى ومظلة الحماية التى واجهت كارثة فوق طاقة البشر. وبالرغم من ذلك إلا أن هناك بعض الآثار السلبية للسد العالى على نهر النيل والبيئة عموماً - ولكن تلك الآثار يمكن تجنب الكثير منها من خلال الإدارة البيئية الجيدة للبحيرة والسد ومجرى النيل ودلتاه، وتلك الآثار لا تقارن على أى حال، بما أعطاه وماسوف يعطيه هذا المشروع العملاق ويمكن تلخيص تلك الآثار فيما يلى:

١- منع ترسيب ٧٣ إلى ٩١ طن متريا من الترسبات التى كانت تحمل مع الفيضان واحتفظت بالدلتا كما هى على مدى آلاف السنين. وقد أدى منع الترسيب الناتج عن الفيضان إلى زيادة معدلات تآكل أراضى الدلتا بمياه البحر. إذ يقدر النحر السنوى بمقدار متر واحد أو أكثر (Broadus et al., 1986: Vol. 4. Sea level Rise, UNEP, EPA, October).

وطبقا لتوقعات ارتفاع متوسط درجة الحرارة على مستوى الكرة الأرضية والذى سوف يؤدى إلى ارتفاع مستوى المياه بالبحار جنبا إلى جنب مع تأثير السد المذكور فى الفقرة السابقة، فإن السيناريوهات المتوقعة يمكن تلخيصها فيما يلى:

يرتفع مستوى سطح البحر لمسافة تقدر بين ١ إلى ٣ أمتار على مدى المائة سنة القادمة وسوف يؤدى ذلك إلى إهدار كم من الأرض يتراوح عدد سكانها بين ثمانية إلى عشرة ملايين مواطن، وسوف يمتد التأثير على بحيرات إدكو ومريوط والبرلس والمنزلة والتى تحمى مؤقتا بالكثبان الرملية الساحلية، بالإضافة إلى التأثيرات السلبية على الحياة البرية والثروة السمكية المتحصل عليها من تلك البحيرات.

٢) **تأثيرات بيئة أخرى للسد العالى**: ويمكن تلخيص بعضها فيما يلى:

أ- نقص الإمداد بالطمى والمواد المغذية للتربة فى مياه نهر النيل، بالإضافة إلى ضعف إنتاج السردين فى المناطق الساحلية بالدلتا.





صورة للسد العالى (عن Hall Stiling, P, 1996-Prentice)

ب- زيادة معدلات الإصابة بمرض البلهارسيا نتيجة نظام الرى الدائم حيث كان الفيضان يعمل على إزالة بيئات القـوقع العائل الوسيط للمرض وكانت فترة الجفاف السنوية تقتل القوقع.

جـ- اختفاء بعض أنواع النباتات وانتشار أنواع من النباتات البرية الضارة.

د- أدى استخدام الرى الدائم إلى ارتفاع منسـوب المياه الجوفية وأيضا إلى زيادة ملوحة التربة.

هـ- ارتفع معـدل نمو ورد النيل والأعشاب المـائية الضارة فى العـديد من الترع الرئيسية وقنوات الرى.

## خاتمة:

من الحقائق المعروفة والتى تكاد تقترب من درجة الثبات فى علم الأنظمة البيئية أن التغيرات فى النظام البيئى غير عكسية، فعلى سبيل المثال لا يمكن تحت أى ظرف استعادة نوع مفترض أو عودة أى نظام بيئى إلى حالته الأصلية بعد كارثة طبيعية أو حادث بشرى، ولكن هذا لا يعنى عدم إمكانية استرداد النظام البيئى لعافيته إذا ما تم تشخيص الحالة المرضية للنظام البيئى بشكل صحيح وتحديد العلاج فى الوقت المناسب على أسس نظريات النظام البيئى قبل أن تتفاقم الكارثة، ومن ثم فإننا نرى ضرورة تشخيص الحالة الصحية لنهر النيل بدءاً من بحيرة ناصر وحتى المصب حتى نضع تقييما فعليا وموضوعيا للجهود التى بذلك والاستراتيجيات التى وضعت لمعالجة النهر من آثار التلوث والحد من المزيد من الضرر وطرح حلول إضافية أو جديدة أو بديلة إذا لزم الأمر. كما أننا نرى وجوب اتخاذ بعض الإجراءات الفورية لضمان الحماية الكاملة للنهر، على سبيل المثال:

١- أن يقتصر النقل البحرى السياحى على السفن الشراعية وأن توقف الرحلات البحرية التى تعتمد على السفن الضخمة للسياحة النيلية بغض النظر عن الخدمة السياحية التى تقدمها وعن فرص العمل التى توفرها وغير ذلك من مبررات. . . . إلخ، فمن أراد الاستمتاع بالنهر فيكفية المشاهدة أو استخدام قارب شراعى صغير. حتى الأتوبيسات النهرية فإننا لا نرى ضرورة ملحة لوجودها.

٢- توقف النقل النهرى للبضائع بين محافظات مصر وبين مصر والسودان حتى وإن ارتفعت التكلفة، فالدروس البيئية أكثر تكلفة، فهى باهظة الثمن وقد لا يمكن تسديد فواتيرها.

٣- نقل المنشآت الصناعية القريبة من النيل إلى مسافة لا تقل عن ٥٠ كيلو مترا من النهر خلال فترة زمنية وجدول زمنى محدد ومعالجة مخلفاتها بطريقة تضمن عدم تسرب أى مواد سامة إلى نهر النيل أو المياه الجوفية.





٤- الوقف النهائى لنشاط أى منشأة تثبت مخالفتها للاشتراطات البيئية وتغليظ العقوبات للمتجاوزين سواء كانوا من أصحاب المنشآت أو موظفى الرقابة الذين يغضون الطرف ويتهاونون فى اتخاذ الإجراءات القانونية ضد المخالفين، حيث يجب أن ننظر إلى تعمد إلقاء ملوثات قاتلة فى النيل على أنها عملية قتل جماعى متعمد من أجل مصالح فردية.

٥- إعادة النظر فى المبيدات والأسمدة المستخدمة فى النشاط الزراعى فى مصر واستخدام أنواع من المبيدات سريعة الانحلال بعد أداء الغرض وأيضا لا ينشأ عن تكسيرها أو انحلالها مركبات أو عناصر ضارة يمكن أن تتسرب إلى المجارى المائية أو المياه الجوفية أو مجرى نهر النيل.

## المراجــع

### أولاً المراجع عربية:

- **توفيق مفرج (١٩٤٩):** على ضفاف النيل - من مينا إلى فاروق - شركة فن الطباعة - مصر.
- **مختـار السـويفى (١٩٨٠):** مصـر والنيل فى أربع كتب عـالمية - الدار المصرية اللبنانية - مصر.
- **محمـد عبد الفتـاح القصاص (٢٠٠٦):** النيل فى خطر - دار المعارف - مصر.
- **محمد محمد الشاذلى (٢٠٠٠):** مبادئ علم بيئة الحشرات - الدار العربية للنشر والتوزيع - مصر.
- **مـحمـد محـمد الشـاذلى، على على المرسى (٢٠٠٠):** علم البيـئة العام والتنوع فى البيولوجى - دار الفكر العربى - مصر.

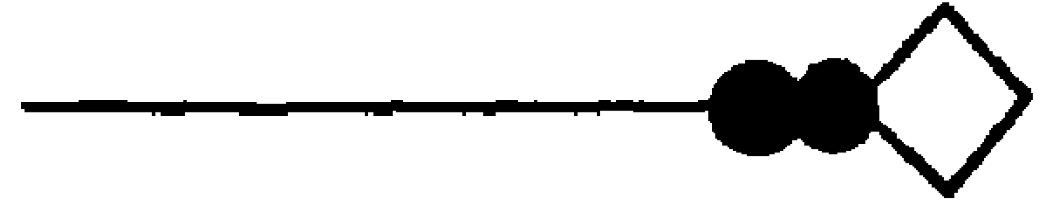
### منشورات جهاز شئون البيئة

- **جهاز شئون البيئة (١٩٩٣):** تنوع الموائل: البيئات الطبيعية فى مصر.
- **جهاز شئون البيئة (١٩٩٥):** التنوع البيولوجى - دراسة عن مصر

**EEAA (Egyptian Environmental Affairs Agency (1992):** Environmental action plane of Egypt.

**EEAA (Egyptian Environmental Affairs Agency (1992):** The Biological resources of the Arab republic of Egypt.





## ثانيا المراجع الأجنبية:


**Ashby, W.R. 1973.** An Introduction to cybernetics. London: Chapman and Hall, University Paperbacks.

**Baha El-Din (1999):** Palm Press, Cairo Egypt.

**Bongaarts, J. 1997.** Population policy options in the developing world. Science 263:771-772.

**Birkett, S.H., and D.J. Rapport 1998.** A framework for identifying and classifying ecosystem dysfunction. The Environmentalist, 18(1):15-25.

**Boyce, S.G. 1977.** Management of eastern hardwood forests for multiple benefits (DYNAST-MB) U.S. Dep. Agric. For. Serv., Res. SE-184, 140p Southeast For. Exp. Sttu. Asheville, N.C.

**Boyce, S.G. 1995.** Landscape Forestry. New York: John Wiley & Sons, Inc.

**Broadus et. al. (1986):** Sea level Rise, UNEP, EPA. October.

**Calow, P. 1995.** Ecosystem health: A critical analysis of concepts. In: Rapport, D.J., Gaudet, C., Calow, P. (eds.). Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems, 33-42. Springer-Verlag, Heidelberg.

**Crabe, T. 1996.** The Impact of Deer grazing on Vegetation of Provincial Park, Natural Heritage Information Centre, Ontario Ministry of Natural Resources.

**Daily, G.C. 1997.** Nature's Services. Societal Dependence on Natural Ecosystems. Island Press, Washington, D.C.






**Dobson, A.P., A.D.** Bradshaw, and A.J.M. Baker 1997. Hopes for the Future: Restoration Ecology and Conservation Biology. Science, 277 515-522 .

**EEAA (The Egyptian Envirnmentol Affairs Agency (1992).** Environmental Action plan of Egypt. ARE.

**El-Raey et al., (1997):** Environmental monitoring and assessment 47:59-77.

**Engelberg, J., and L. L.L. Boyarsky 1979.** The noncybermetic of ecosystems. Amer. Nat. 114:317-324 .

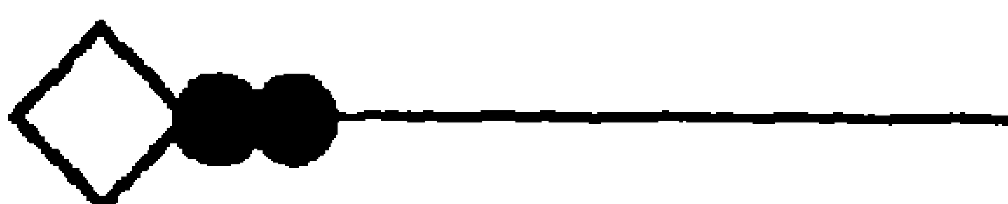
**Freedman, D. and B. Berelson. 1974.** The human population. Sci Am. 231:30-39 .

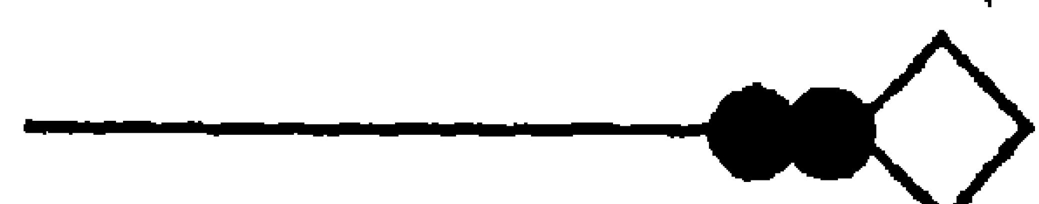
**Gunn, J.M. (Ed) 1995.** Restoration and Recovery of an Industrial Region: Progress in Restoring the Smelter Damaged Landscape near Sudbury, Canada. Springer-Verlag.

**Holling, C.S. 1995.** Sustainability: The cross-scale dimension i. In: Munasinghe, M. & Shearer, W. (eds) Defining and Measuring Sustainability: The Biogeophysical Foundations, 65-75. The World Bank, Washington, DC.

**Kerr, S.R., and L.M. Dickie 1984.** Measuring the health of aquatic ecosystems. In Cairns, V.W., Hodson, P.V., Nriagu, J.O. (eds.) Contaminant Effects on Fisheries. J. Wiley and Sons, New York.

**Leopold, A., 1941.** Wildermess as a land laboratory. Living Wildernes, 6 (July): 3.





**Lorimer, C.G., and L.E. Frelich 1994.** Natural disturbance regimes in old-growth northern hardwoods. J. Forestry. 92 (1):34-38.

**Nicolis, G., and I.Prigogine 1977.** Self-organsisation in non-equilibrium systems. 491p John Wiley and Sons: New York, London, Sydney, Toronto.

**Odum, E.P. 1969.** The Strategy of Ecosystem Development. Science 164:262-270.

**Odum, E.P. 1985.** Trends Expected in Stressed Ecosystems, BioScience 35(7):419-422.

**Odum, E.P. 1995.** Profile Analysis and Some Thoughts on the Development of the Interface Area of Environmental Health. Ecosystem Health, 1(1) 41-45.

**Odum, H.T. 1997.** Ecology: Abridge between science and Society. Sinauer Associates. Inc.

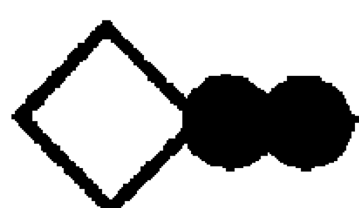
**Odum, H.T. 1960.** Ecological potential and analogue circuits for the ecosystem. Amer. Scient. 48:1-8.

**Pattern, B.C. 1964.** The Systems Approach in Radiation Ecology. ORNL/TM-1008 Oak Ridge National Laboratory, Oak ridge, Tennessee. 19.

**Odum, H.T. 1983.** System Ecology. An Introduction New York.

**Patten, B.C., and S.E., Jorgensen 1995.** Prentice Hall PTR, New Jersey.

**Patel, A., D.J. Rapport, J. Eyles, and L. Vanderlinden 1999.** Forest and human values: Comparing scientific and public perception of forest health in SW Ontario. The Environmentalist (in press).





**Porn, I. 1984.** An equilibrium model of health. In: Nordenfelt, L. & Lindahl, B. (eds.) Health, Disease and Causal Explanations in Medicine. Reidel, Durdecht.

**Rapport, D.J. 1984.** State of ecosystem medicine. In: V.W. Cairns, P.V. Hodson and J. O. Nriagu (eds) Contaminant Effects in Fisheries. New York: John Wiley & Sons (315-324).

**Rapport, D.J, H.A. Regier, and T.C. Hutchinson 1985.** Ecosystem behaviour unders stress, American Naturalist, 125,617-640.

**Rapport, D.J. 1989.** Symptoms of p[athology in the Gulf of Bothnia (Baltic Sea): Ecosystem reponse to stress from human activity. Biological Journal of the Linnean Society 37:33-49.

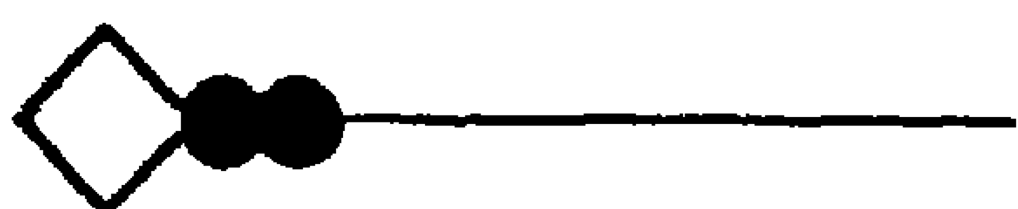
**Rapport, D.J. 1997.** What is Ecosystem Health? EcoDecision, Winter 1997.

**Rapport, D.J., C. Gaudet, and P. Calow (eds.) 1995.** Evaluating and Monitoring the Health of Large-Scale Ecosystems, 33-42. Springer-Verlag, Heidelberg.

**Ribble, C.et al, 1997.** Ecosystem health as a clinical rotation for senior veterinary students in Canadian veterinary schools. Canadian Veterinary Journal. (38): 485-490.

**Scott, V.E., K.E. Evans, D.R. Patton, and C.P. Stone 1977.** Cavity-nesting birds of north American forests. U.S. Dep. Agric. For. Serv., Agric., Handbook. 511. 112p Washington, D.C.

**Schindler D.W. 1990.** Experimental perturbations of whole lakes as tests of hypotheses concerning ecosystem structure and function. Oikos 57:25-41 .





**Spanner, D.C. 1964.** Introduction to thermodynamics. 278p. Academic Press, London and New York.

**Sheffield, R.M., and M.T. Thomopson 1992.** Hurricane Hugo, effects on South Carolina's forest resources. Res. Pap. SE-284. Asheville, NC: USDA Forest Service, South-easten Forest Experimental Station.

**Singh et. al. (1999):** Ecosystem health, 5: 265-274.

Sprugel, D.G. 1976. Dynamic structure of wave-regenerated Abies balsamea forests in the north-east United States, Journal of Ecology, 64:889-911.

**Sprugel, D.G. 1991.** Disturbance Equilibrium and Environmental Varibility: What is 'Natura' Vegetation in a Changing Environment? Biological Conservation, 58:1-14.

**Stiling, P.D. (1992):** Introductory Ecology, Prentice Hall, USA.

**Stiling, P.D. 1996.** Ecology: Theories and Applications. Prentice Hall.

**Tolba, M.K., O.A. El-Kholy, E. El-Hinnawi, M.W. Holdgate, D.F. McMichael, and R.E. Munn, 1992.** The World Environment 1972-1992. Chapman & Hall, London.

**Van Dyne, G.M. 1966.** Ecosystems, Systems and Systems Ecologists. ORNL 39 3957. Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, Tennessee. 40.

**Van Dyne, G.M. 1969a.** Grasslands Management Research, and Training Viewed in a Stems Context. Range Science Department, Science Series, No 3. Colorado State Univeristy, Fort Collins, Colorado 50.





**Van Dyne, G.M. (ed) 1969b.** The Ecosystem Concept in Natural Resource Management. Academic Press, New York. 383.

**Van Dyne, G.M. 1969a.** Grasslands Management, Research, and Training Viewed in a Systems Context. Range Science Dde-partment, Science Series, No 3, Colorado State University, Fort Collins, Colorado.

**Vitousek, P.M., and W.A. Reiners, 1975.** Ecosystem succession and untrient retention: a hypothesis. BioScience 25:376-381.

**Vitousek, P.M., H.A.Mooney, J. Lubchenco, and J.M.Melillo, 1997.** Human Domination of Earth's Ecosystems. Science, Vol277 (25July 1997) 494-499.

**Waltener-Toews, D. 1996.** Ecosystem health: A framework for im-plementing sustainability in agriculture. Bioscience. 46:686-690.

**Watt, K.E.F. 1968.** Ecology and Resource Management. McFraw Hill, New York 450.

**Winterhalder, K. 1996.** Environmental degradation and re-habiliation of the landscape around Sudbury, a major mining and smelting area. Environ. Rev. 4,185.

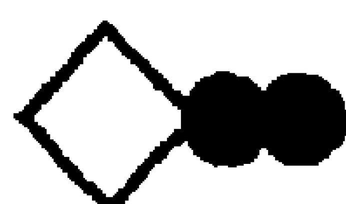
**Wisniewski, S., B. Staniszwski, and R. Szymanik, 1976.** Thermo-dynamies of nonequilibrium processes. 274p D. Reidel Publ. Co.: Boston, Mass.

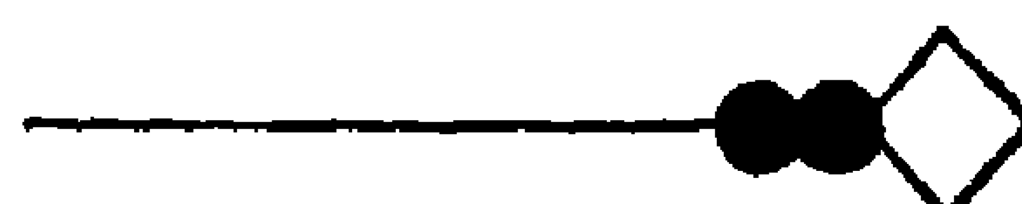
## مواقع إلكترونية

http://en.wikipedia.org/wiki/River

http://omgsic.com/river-pollution

http://www.eia.doe.gov/emeu/cabs/egypenv.html.





# الفصل التاسع

## الأنظمة البيئية البشرية



١- علم بيئة الإنسان .

٢- مستوى كثافة المتطلبات البشرية على النظام البيئى.

٣- التغذية الاسترجاعية (رد الفعل) الإيجابية والسلبية.

٤- المجتمعات البشرية والانظمة التكنولوجية .

٥- بيئة المسطحات.

٦- المسطحات والمجتمعات العمرانية.

- مراجع مختارة.

### ١- علم بيئة الإنسان Human ecology:

الإنسان مفضل على الكثير من خلق الله، وظاهريا هو أرقى المخلوقات على سطح الكرة الأرضيــة، ولكنه مخلوق كسـائر المخلوقات له احتـياجات بيولوجـية وفيزيائيـة، كما أن له دورا "Role" فى الأنظمة البيـئية التى يعتبر جـزءاً منها مثل سائر المخلوقات.

الإنسان، بصـفته كائنـا حيا، يقيم عـلاقات مع الكائنات الأخرى كـما أنه بحاجة دائمة إلى مصادر بيـئية غير حية لإشباع احتياجـاته، والبيئة تقدم له العديد من الخدمـات (راجع الفصل السـادس). مما سبق يتضح بداهـة أن الإنسان يلعب دوراً فى تنظيم "Regulation" أو التأثيـر على حركة وديناميكيـة المصادر الطبيـعية سواء كانت حية أو غير حية بصفته عنصرا حيا من عناصر النظام البيئى وهذا الدور يعرف اصطـلاحا بالموضع البـيئى"Ecological niche". والموضع أو الدور البـيئى لمعظم أنواع الكائنات الحية يتـميز بثبات نسـبى عبر التاريخ الطبيعى، فـعلى سبيل المثال تتنوع الحشرات والنـباتات كاسيات البذور بشكل متـرابط (حيث إن الحشرات لها دور أساسى فى تلقيح وانتشار النبات) منذ أكثر من ٦٥ مليون عام، فالحشرات لها وظيفة بيئية فى تلقيح وتنظيم آهلات النبات، كما أن النبات له دور أساسى فى تغذية الحشـرات، ومن ثم، أنماط انتشار الحشـرات، وهذه الأدوار ثابتة على مدار ملايين السنين.

وعلى النقـيض من ذلك الإنسان، حـيث نجد أن الدور البـيئى أو الوظيـفة البيئية للإنسان قد مرت بتطورات عـديدة على مدى الثلاثة ملايين عام الماضية، ثم تغير هذا الدور أو الوظيـفية البشرية بـصورة مفاجئة إن لم تـكن مذهلة على مدى العشـرة آلاف عام الأخـيرة نتـيجة حـدوث طفرة فى الآهلات أو المجـتمـعات أو العشائر البشـرية تمثلت فى معرفة الإنسان للزراعة واستـخدامه لبعض الأدوات من البيئـة حتى تكوّن، وبإرادة النوع البشرى، ما يمكن أن نطلق عليـه اليوم الغلاف التكنولوجى أو التقنى "Technosphere" وأيضاً الغلاف المعلوماتى.

## ما هو علم بيئة الإنسان؟ "What is human ecology":

لما كان علم البيئة هو علم دراسة العلاقـات بين الكائن الحى وبيئته، وبصفة الإنسان كائنا حيـا، فإن علم بيئة الإنسان هو العلم الذى يتناول العـلاقة بين البشر والبيئة. وفى علم البيئة البشـرى أو علم بيئة الإنسان، وطبقاً لرأى بعض العلماء، ينظر إلى البيئة البـشرية على أنها «نظام بيئى» "Ecosystem" وهى تعنى كل شىء فى منطقة معينـة (الهواء - التربة - الماء - الكائنات الحية - التراكيـب الفيزيائية بما فى ذلك المنشآت التى يقيـمها البشر). والجزء الحـى فى النظام البيئى، بما فى ذلك الإنسان، يعرف بالمجتمع الأحيائى "biological community".

بالرغم مما ذكـرناه عن آراء العلماء حول مـواصفـات وحجم النظام البـيئى (الفصل الثالث) إلا أن هناك مدارس علمية تنظر إلى أى وحدة بيولوجية - فيزيائية على أنها نظام بيئى، وبناء على هذا الاتجاه، فإن النظام البيئى يمكن أن يكون بأى حجم:

* الجدول فى الغابة نظام بيئى.
* الغابة كلها نظام بيئى.
* المزرعة نظام بيئى.
* المسطحات القروية نظام بيئى.
* القرية نظام بيئى.
* منطقة من آلاف الكيلومترات نظام بيئى.
* الكرة الأرضية بالكامل نظام بيئى.
* المدينة نظام بيئى.

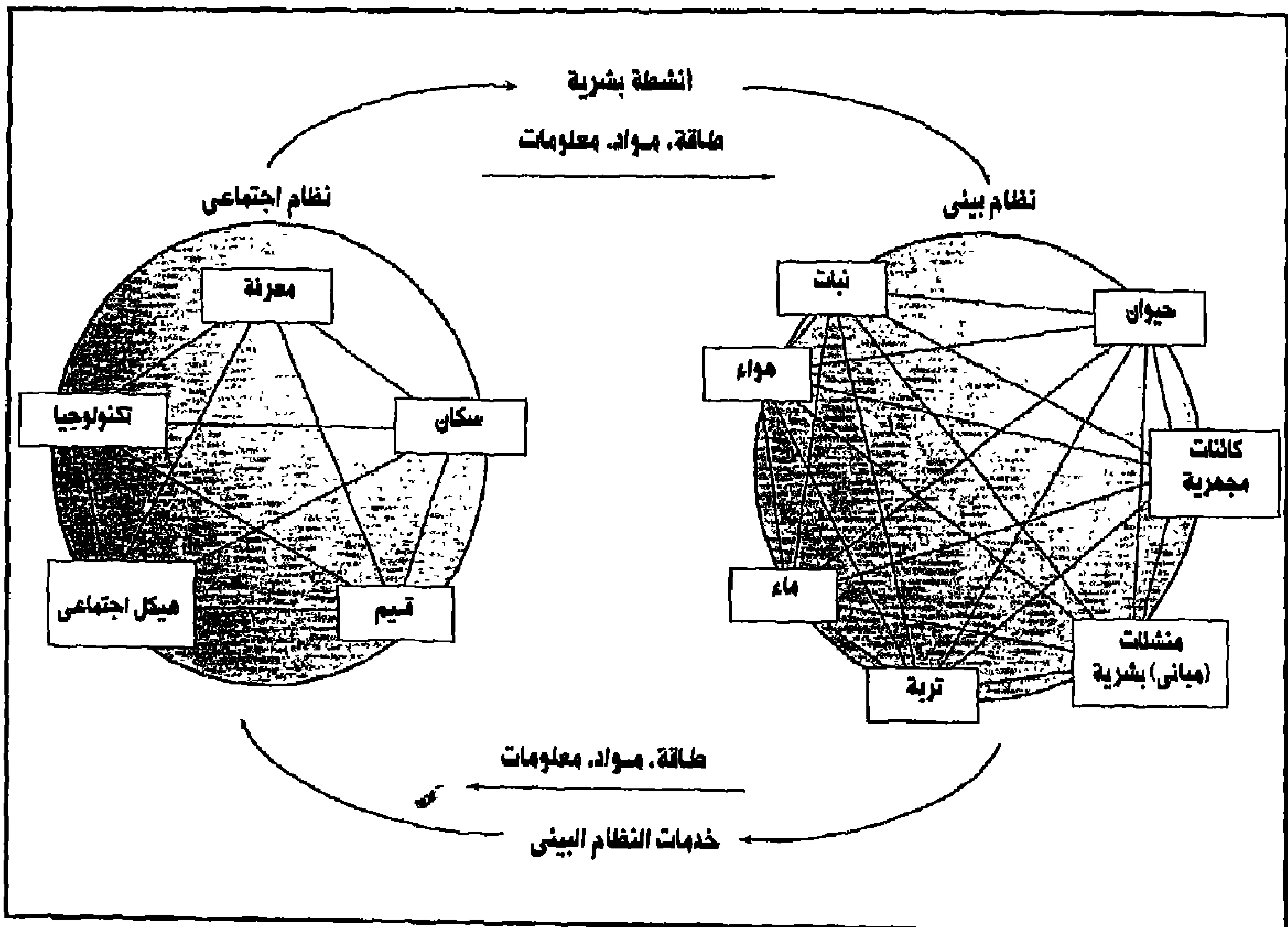
وسوف نحـاول فى هذا الفصل إلقاء الـضوء على الموضوع الأخـير «المدينة كنظام بيئى».





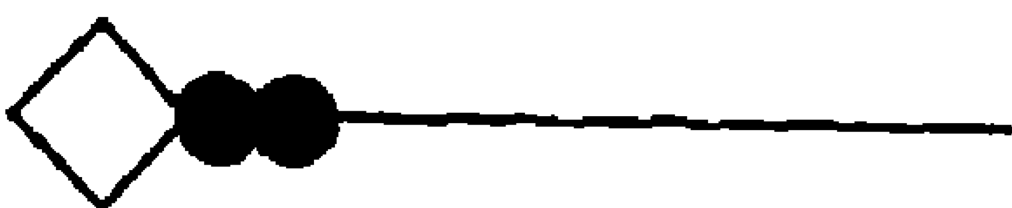
بالرغم من أن البشـر جزء من النظام البيئى، إلا أن بعض المدارس العـلمية ترى أن تفاعل الإنســان مع البيئـة هو تفاعل بين «**نظام اجـتماعى بـشرى**» وباقى مكونات النظام البيئى (شكل ١) (Marten, 2001) .

النظام الاجتماعى هو كل شىء متـعلق بالبشر، بما فى ذلك السلوك البشرى والتعداد والطبقات الاجتماعية. . . . ومن ثم فإن بعض المدارس العلمية تذهب إلى أن النظام الاجتـماعى هو مـفهوم مـحورى فى علم بيئـة الإنسان حـيث إن تأثير الأنشطة البشرية على النظام البيئى يتأثر بطبيعة المجتمع وثقافاته.




*شكل (١): التفاعل بين النظام البشرى الاجتماعى والنظام البيئى (عن* Marten, 2001)

ناقشنا ســابقاً الخدمات التـى يؤديها النظام البيـئى إلى المجتمع البشـرى مثل الطاقة والأمان والرفاهيـة والمأوى والمعلومات. . . . (راجع الفصل السادس)، ومن ناحية أخرى فـإن المواد والطاقة والمعلومات تتجه من النظام الاجـتماعى إلى النظام البيئى نتيجة الأنشطة البشرية:

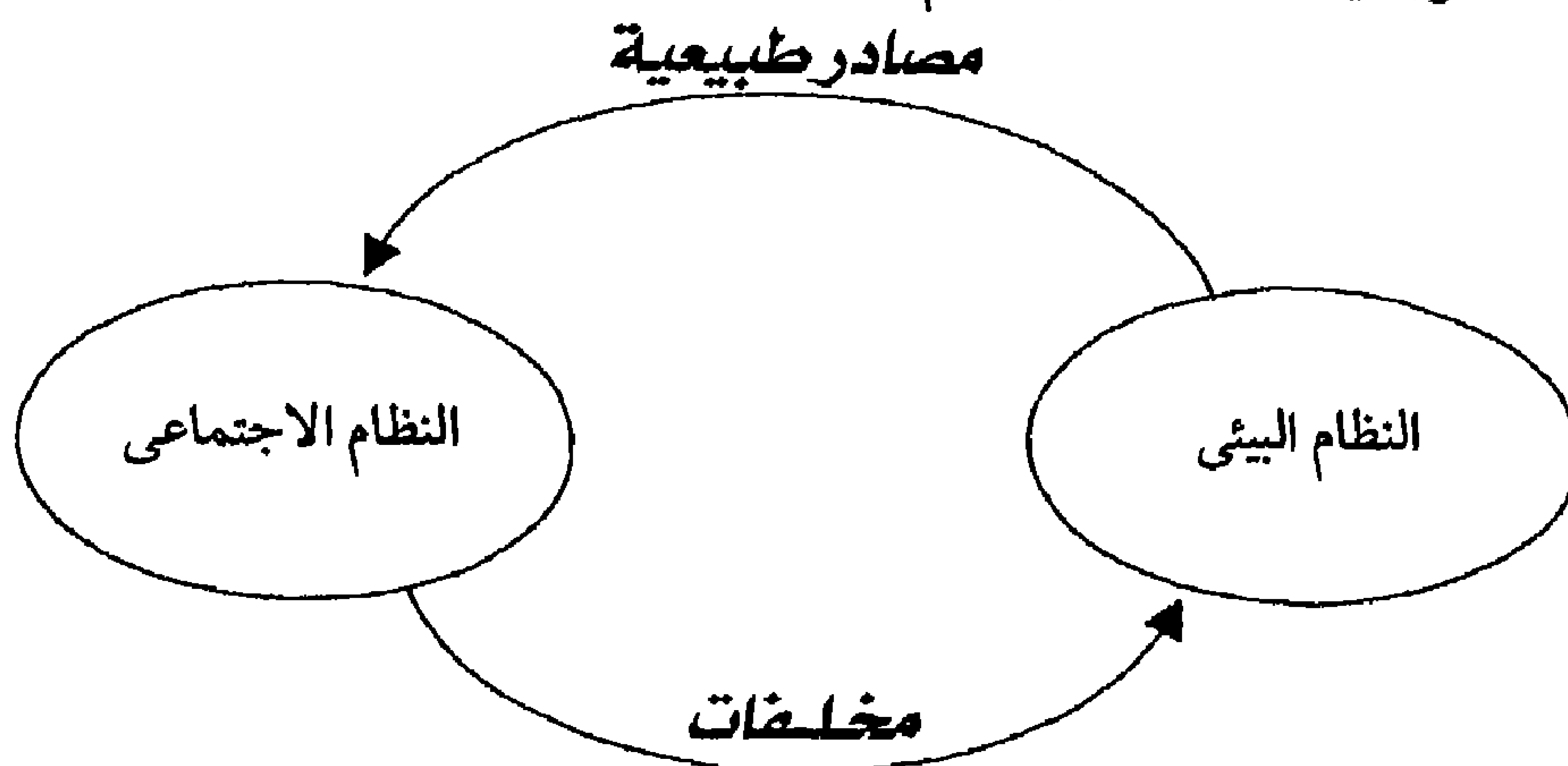




* يؤثر البشر على الأنظمة البيئية نتيجة استخدامهم للمصادر مثل المياه والأسماك والغابات..

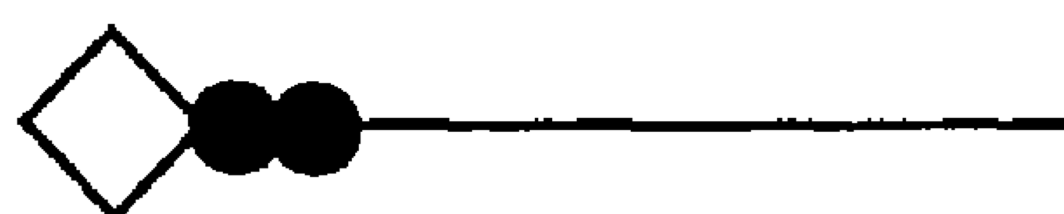
* بعد استخدام الخامات من النظام البيئى يتم إعادتها إلى النظام البيئى على شكل مخلفات (شكل ٢).

* يحوِّر البشر الأنظمة البيئية أو ينشئون أنظمة جديدة (مثل المدن والمناطق الزراعية) لخدمة احتياجاتهم.

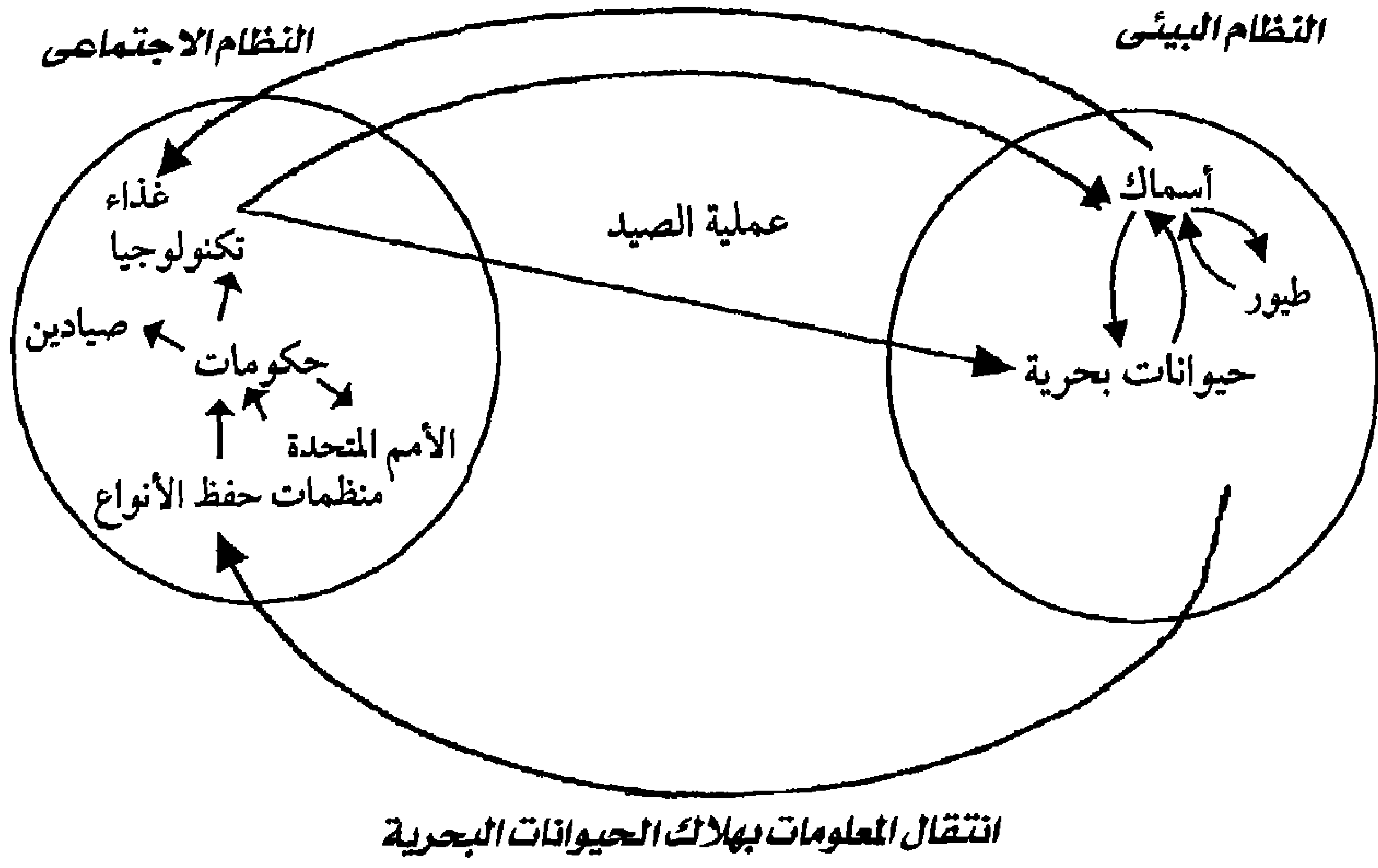



*شكل (٢): استخدام الإنسان للمصادر*

وهناك العديد من أمثلة التفاعل بين النظام الاجتماعى والنظام البيئى ومن بينها القضاء على الحيوانات البحرية نتيجة أنشطة الصيد. فى الثمانينيات من القرن الماضى استخدم الصيادون نوعا خاصا من الشباك «غير المرئى» لصيد الأسماك من جميع المحيطات حول العالم، وفى منتصف الثمانينيات وجد أن هذه الشباك أدت إلى هلاك أعداد هائلة من الحيوانات البحرية مثل الدولفين والسلاحف المائية وغيرها. انتقلت معلومة موت الحيوانات البحرية من النظام البيئى إلى النظام الاجتماعى (شكل ٣)، وبدأت منظمات حفظ الأنواع تحذر من هذا النوع من الشباك وتمارس ضغوطا على الحكومات لتحريم الصيد بهذه الشباك فوافقت بعض الحكومات ورفضت حكومات أخرى، وأخيرا لجأت بعض الدول إلى الأمم المتحدة التى حرمت استخدام هذه الشباك، وهذه العلاقة بين النظام البيئى والنظام الاجتماعى موضحة فى شكل (٣).








*شكل (٣): التأثير المتبادل بين النظام البيئى والاجتماعى فى صيد الأسماك*
*(عن* Marten 2001)

## ٢- مستوى كثافة المتطلبات البشرية على النظام البيئى:

**Intensity of human demands on ecosystems:**

هناك علاقة بين الاستدامة ومستوى كثافة احتياجات البشر من النظام البيئى، فنحن نعتمد على الموارد المتجددة وغير المتجددة لإستمرار الحياه البشرية. وعموما فإنه كلما زادت المتطلبات البشرية على النظام البيئى قلت فرصة استدامة النظام. ويجب أن نذكر أنه فى الأعوام الأخيرة بدأ العالم يستخدم المصادر بصورة أكثر رشداً باستخدام التقنيات الحديثة التى تقلل استهلاك المصادر الطبيعية وأيضاً تخفض من التلوث الناشئ عن استخدامات تلك المصادر فى الصناعة والزراعة والأنشطة البشرية الأخرى.

يمكن ملاحظة أن تعداد السكان المنخفض فى بعض الدول المتقدمة يستهلك المصادر بطرق مبالغ فيها بعكس الدول النامية، وعموما يمكن القول بأن مستوى المتطلبات أو كثافة استهلاك النظام البيئى يتوقف على عدة عوامل:

* كم المواد ومصادر الطاقة المطلوبة للإنتاج الزراعى والصناعى.
* التلوث الناتج عن النشاط الزراعى والصناعى.
* عدد الأفراد التى تستهلك المنتج الصناعى أو الزراعى.

## ٣- التغذية الاسترجاعية (رد الفعل) الإيجابية والسلبية:

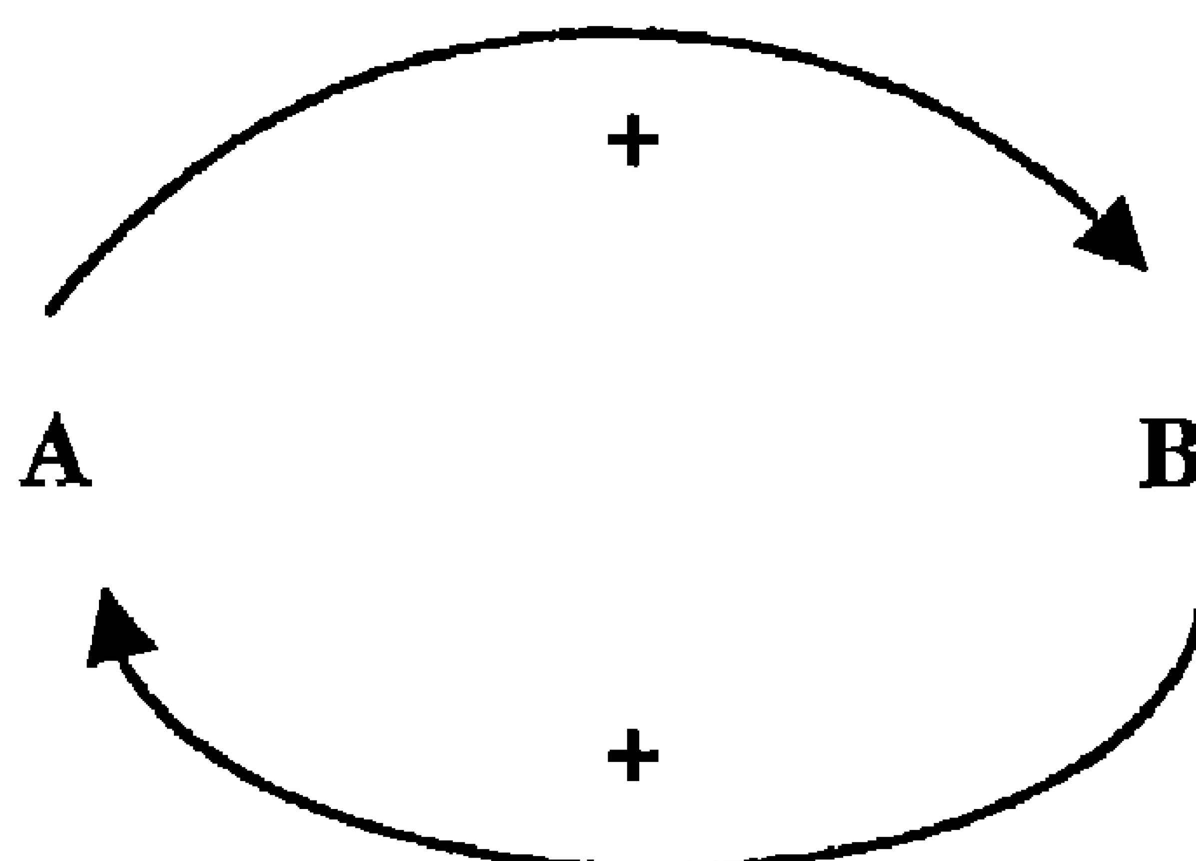
**Positive and Negative Feedback**

### - التغذية الاسترجاعية Feedback

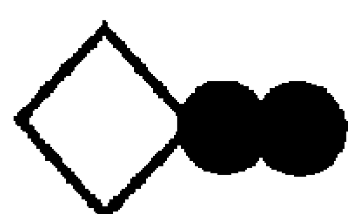
هى ردود أفعال تؤدى إلى إحداث تغيرات فى جزء من النظام البيئى أو الاجتماعى على نفس الجزء بعد مروره بسلسلة من التغيرات فى أجزاء أخرى من النظام، التغذية الاسترجاعية السلبية (رد الفعل السلبى) "Negative fedback" تؤدى إلى الثبات "Stability" وذلك على عكس التغذية الاسترجاعية الموجبة "Positive feedback" والتى تؤدى إلى ظهور مفاجئ للمشاكل البيئية أو إلى تغيرات سريعة فى النظام.

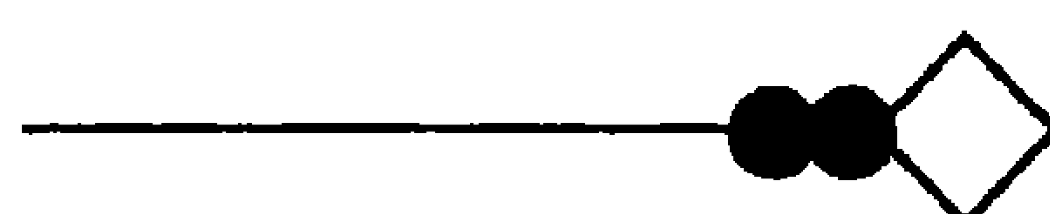
### التغذية الاسترجاعية الموجبة "Positive feedback":

تتشكل التغذية الاسترجاعية الموجبة (رد الفعل الإيجابى) عندما يكون العنصر "A" له تأثير إيجابى على العنصر "B" والعنصر الأخير"B" له تأثير إيجابى أيضاً على العنصر "A" كما فى شكل (٤).

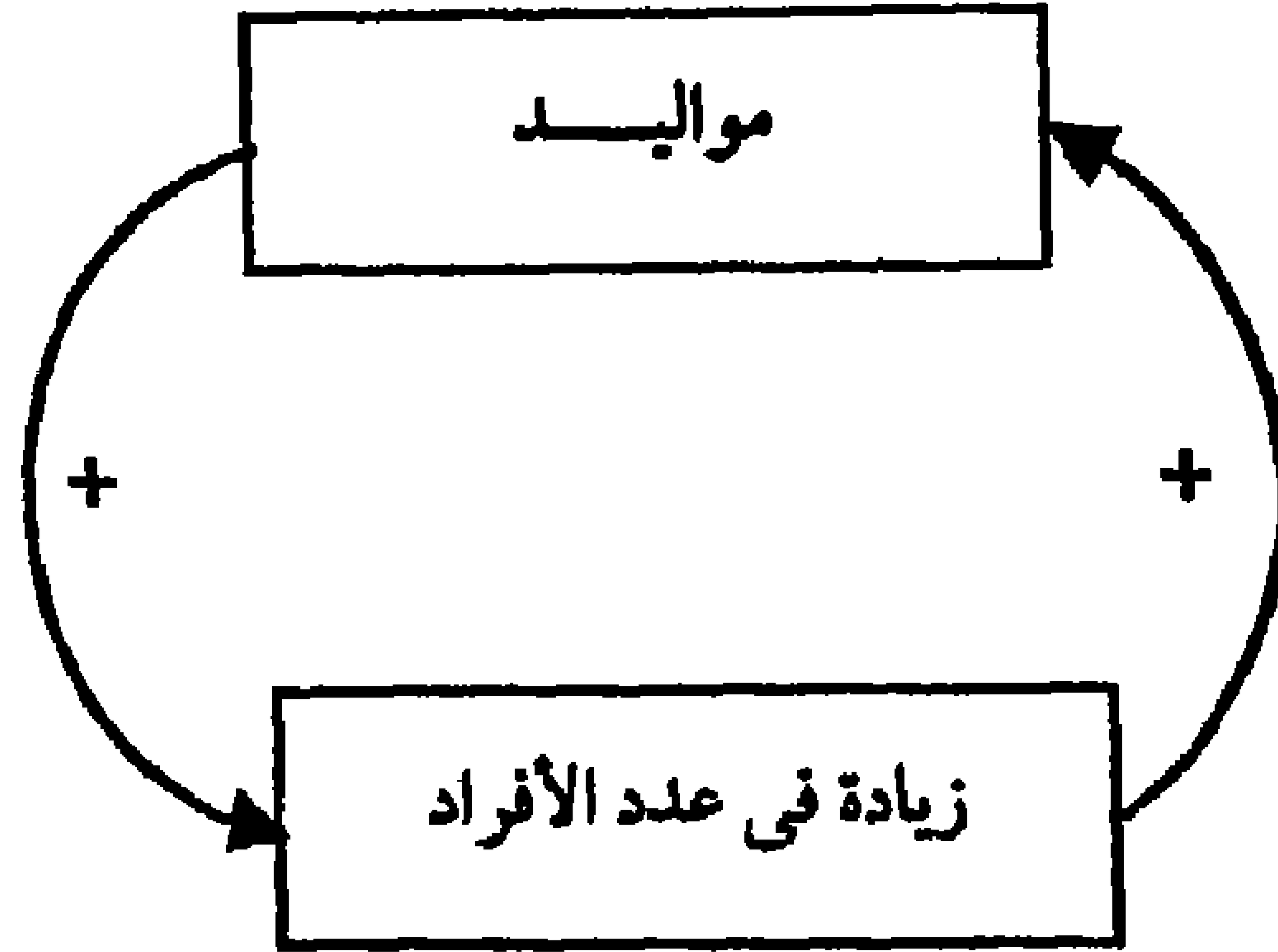



*شكل (٤): تغذية استرجاعية موجبة*



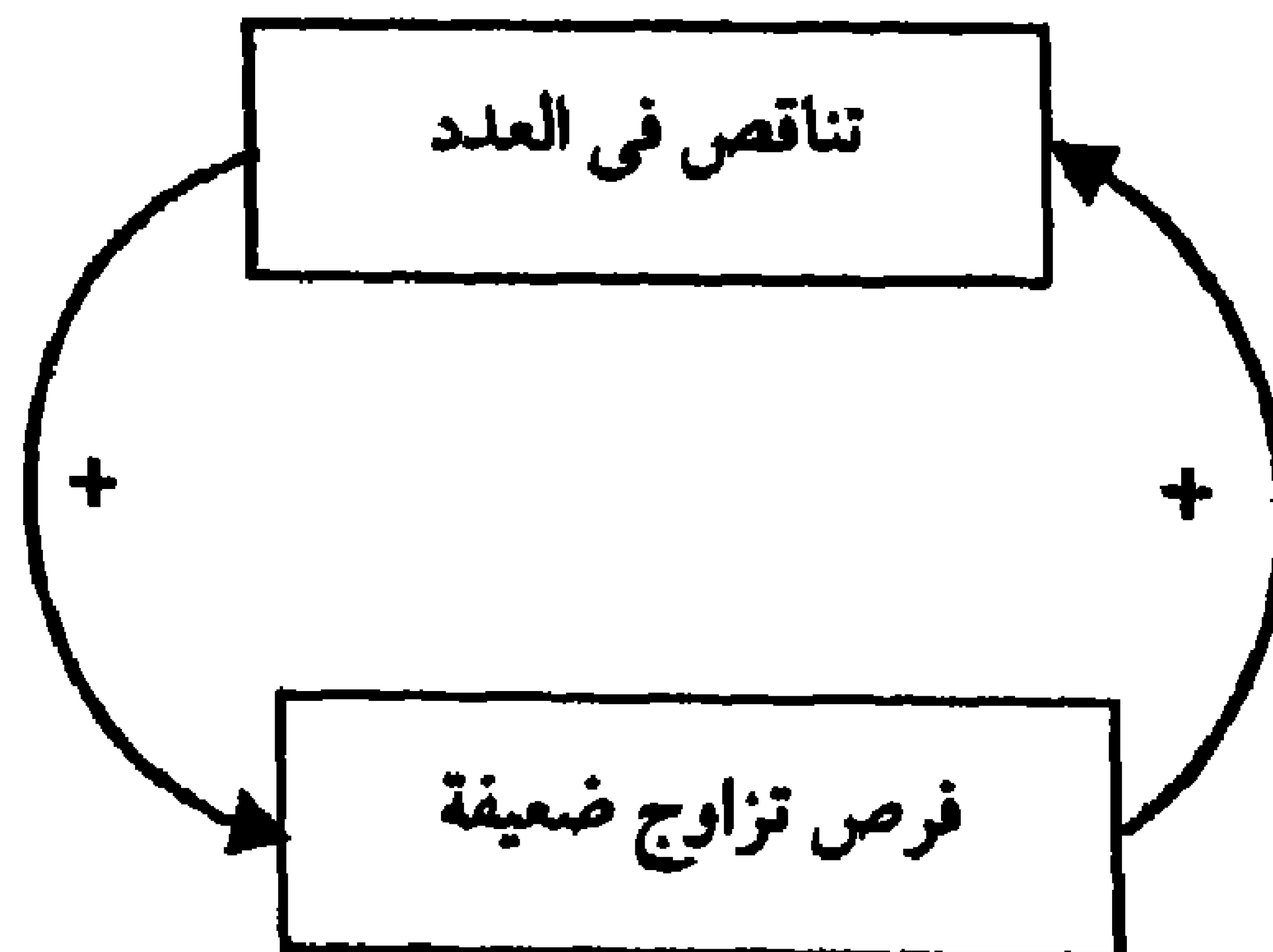


ومن أمثلة التغذية الاسترجاعية الموجبة زيادة تعداد الكائن الحى عندما يستوطن بيئة مناسبة تحتوى على فائق من الغذاء والمكان المناسب للتوالد والمعيشة حيث ينمو التعداد بمعدلات عالية، مع زيادة المواليد يزداد معدل التكاثر وتتعاقب الأجيال ويزداد التعداد، (شكل٥).




*شكل (٥) تغذية استرجاعية موجبة نتيجة الاستيطان فى مكان مناسب وزيادة التعداد*

التغذية الاسترجاعية الموجبة تؤدى إلى التغير ولكنها لا تؤدى دائما إلى زيادة شيء ما فى العدد أو الكم، فعلى سبيل المثال نجد أن الأنواع المهددة بالانقراض تتناقص أعدادها، ومن ثم تجد الأفراد صعوبة فى الالتقاء والتكاثر مما يؤدى إلى قلة معدل المواليد نتيجة ضعف فرصة الالتقاء بين الجنسين، وهذا يؤدى بدوره إلى إضعاف الفرصة أكثر وأكثر فى الالتقاء من أجل التكاثر وهكذا حتى ينقرض النوع (شكل ٦).




*شكل (٦): تغذية استرجاعية موجبة تؤدى إلى تناقص العدد وانقراض النوع*

وفى المجتمعات البشرية ظهر أثر التغذية الاسترجاعية الموجبة فى الحرب الباردة بين الاتحاد السوفيتى السابق والولايات المتحده، فعندما تضخمت ترسانات الأسلحة فى الولايات المتحدة اضطر الاتحاد السوفيتى إلى إنتاج المزيد من الأسلحة وتدعيم ترسانته النووية، وهذا بدوره اضطر الولايات المتحدة إلى زيادة أكثر وأكثر فى ترسانتها مما أدى إلى ما عرف بالحرب الباردة. وعندما اتفقت الدولتان على إنهاء الحرب الباردة حدث العكس نتيجة تغذية استرجاعية موجبة أيضا. والخلاصة أن التغذية الاسترجاعية الموجبة قد تؤدى إلى زيادة عنصرين أو نقص عنصرين أو زيادة عنصر ونقص آخر.

**التغذية الاسترجاعية السالبة "Negative fedback":**

هى دورة من التأثيرات المتتالية التى تعمل ضد أى تغير فى النظام، فالتغذية الاسترجاعية السالبة تميل لحفظ الأشياء كما هى فعندما يتغير جزء من النظام البيئى تتغير الأجزاء الأخرى بطريقة ما فى اتجاه عكسى التغيير الأول (حتى يستمر النظام كما هو).

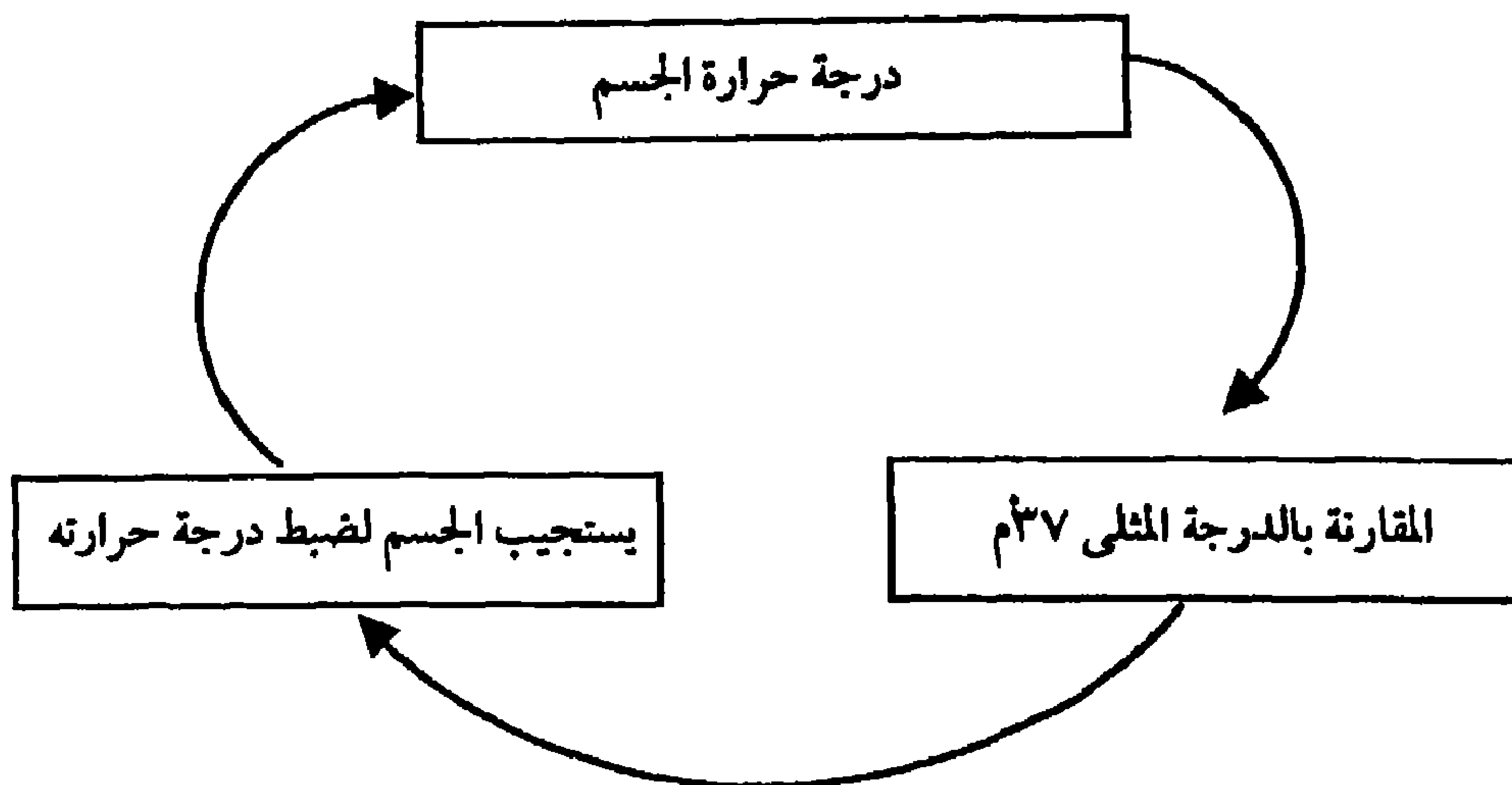
فالوظيفة الأساسية للتغذية الاسترجاعية السالبة هى حفظ النظام متوازن وثابت فى إطار استمرار الكائنات الحية، فالتغذية الاسترجاعية السالبة (أو رد الفعل السلبى) مصدراً للثبات Stability وهى قوة ضد التغيير.

ويعتبر الاتزان البدنى Homeostasis من أوضح أمثلة التغذية الاسترجاعية السالبة فى الكائنات الحية، فالاتزان البدنى هو التحكم فى البيئة الداخلية الفيزيائية والحالة الكيميائية داخل جسم الكائن الحى فى الحدود المطلوبة لبقائه حيا.

ويعتبر تنظيم الجسم البشرى لدرجه حرارته "٣٧°م" مثالا واضحا على التغذية الاسترجاعية السالبة التى تحافظ على ثبات درجة حرارة الجسم:

عندما ترتفع درجة حرارة الجسم عن "٣٧°م" تحدث تغذية استرجاعية سالبة بعدة طرق من بينها زيادة الحرارة المفقودة من الجسم (عن طريق زيادة ضخ الدم إلى الجلد وزيادة معدل العرق لتلطيف درجة حرارة الجسم). وعندما تنخفض درجة

الحرارة عن "٣٧ْم" تحدث ميكانيكية التغذية الاسترجاعية السالبة التى تؤدى إلى رفع درجة حرارة الجسم (عن طريق الإقلال من معدل ضخ الدم إلى الجلد وقلة العرق) (شكل ٧):



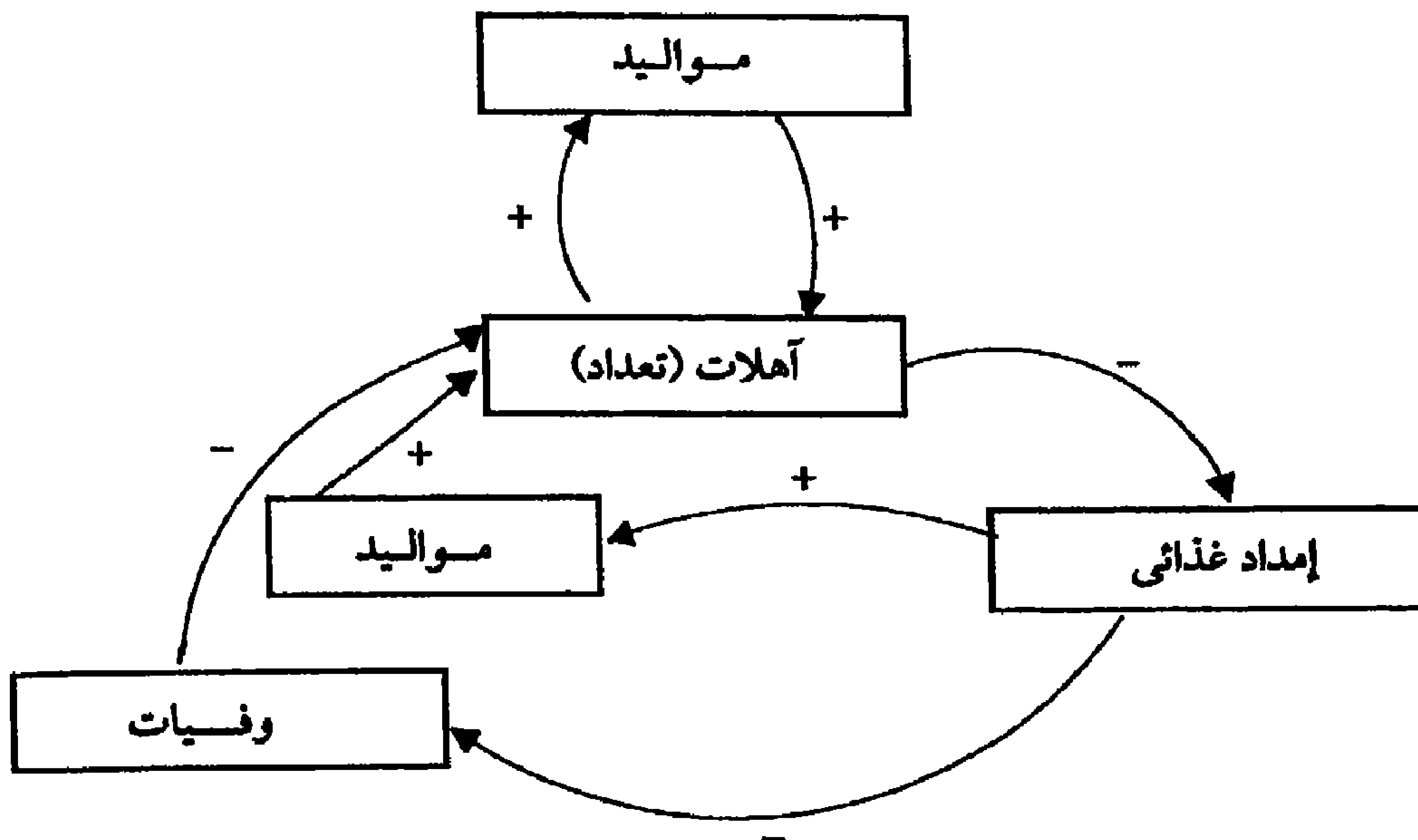

*شكل (٧): التحكم فى درجة حرارة الجسم بالتغذية الاسترجاعية السالبة*

**التغذية الاسترجاعية وتنظيم الأهلات: Feedback and Population regulation**

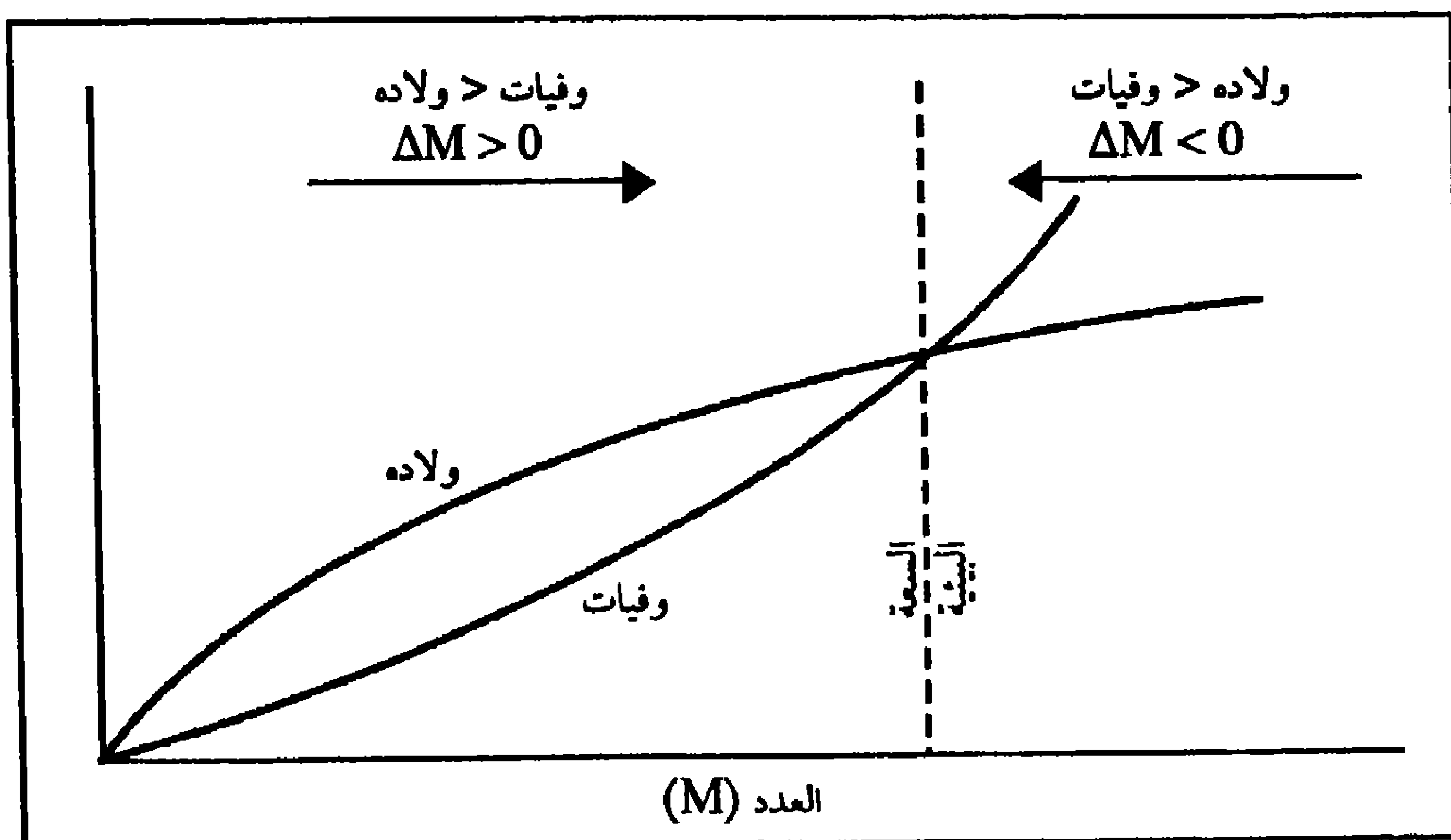
لو أننا تخيلنا غابة لا يوجد بها أى نوع من الغزلان ثم وصل إليها ذكر وأنثى من الغزلان، بعد عام واحد سوف يكون لديهم صغيران، وبعد عام آخر سوف يكبر الصغيران ويتكاثران . . . وهكذا ونتيجة تضاعف العدد سنويا سوف يصل العدد إلى ١٠٠٠ فرد بعد عشرة أعوام. وقد ناقشنا من قبل أن زيادة التعداد عندما يتوطن النوع بيئة مناسبة تعتبر تغذية استرجاعية موجبة (راجع شكل ٥).

ولكن عندما يرتفع التعداد إلى حد يفوق المصادر الغذائية يشتد التنافس على الغذاء وتصبح الغزلان أقل صحة نتيجة ضعف التغذية، ومن ثم تتعرض للأمراض ويقل معدل الزيادة فى العدد تدريجيا مما يؤثر على معدل زيادة التعداد حتى يصل التعداد إلى حالة من الاتزان بين عدد الغزلان أو عدد أفراد النوع وكمية الموارد المتاحة، ويعرف التعداد فى هذه الحالة بالسعة البيئية "Carrying capacity"، فالسعة البيئية هى أقصى تعداد للنوع يمكن أن يستمر على المدى البعيد فى بيئة

معينة فى حدود استـمرارية الموارد المتاحة للنوع فى البيئة. ويتضح مـفهوم التغذية الاسترجاعية الموجبة والسالبة على تنظيم تعداد الأهلات فى شكلى (٨ و ٩).




*شكل (٨): تنظيم التعداد نتيجة عدم كفاية الغذاء ويتضح من الشكل أن التغذية الاسترجاعية الموجبة يعقبها تغذية استرجاعية سالبة تؤدى فى النهاية إلى توازن العدد مع كم الغذاء المتاح على المدى البعيد (عن* Marten, 2001).




*شكل (٩): العلاقة بين التغير فى تعداد الآهلات (الزيادة والنقص) و السعة البيئية للنوع*

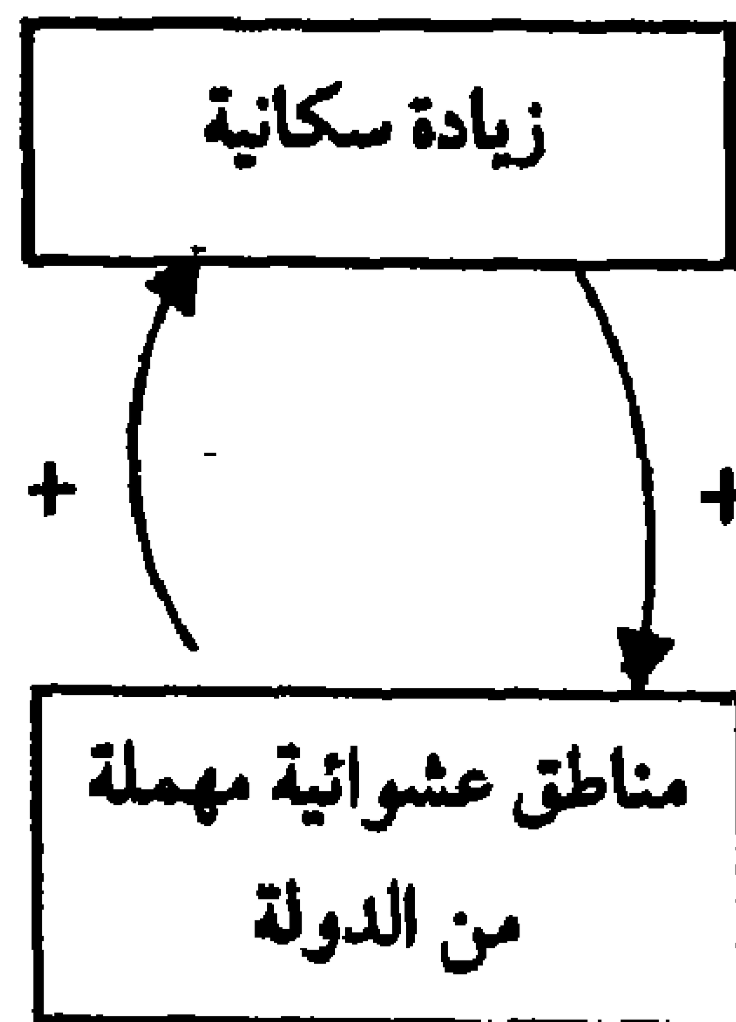
## - التغذية الاسترجاعية فى النظام البيئى (الاجتماعى) البشرى:

**Feedback in Human Ecosystem Social System:**

أى نظام بيئى، بما فى ذلك النظام البشرى، يستمر أو يتغير من خلال مجموعة من التغذيات الاسترجاعية الموجبة والسالبة، وكلا النوعين ضرورى فى استمرار الحياة والنظام البيئى؛ فالمجتمع البشرى دائم التفاعل مع قوى التغيير والثبات، حيث يعتمد البشر على التغذية الاسترجاعية السالبة لبقاء الأشياء كما هى متزنة ومستقرة، وعندما يحاول البشر تغيير وضع ما أو إيجاد حل لمشكلة ما يستعملون التغذية الاسترجاعية الموجبة، ولكن يمكن أن تؤدى التغذية الاسترجاعية الموجبة أو السالبة إلى عكس المصالح البشرية أو نقيض ما يرجوه البشر من الحفاظ على الثبات أو التغيير.

وسوف نعطى مثالاً لأنماط التغذية الاسترجاعية الموجبة والسالبة وتأثيرها على المجتمع المصرى:

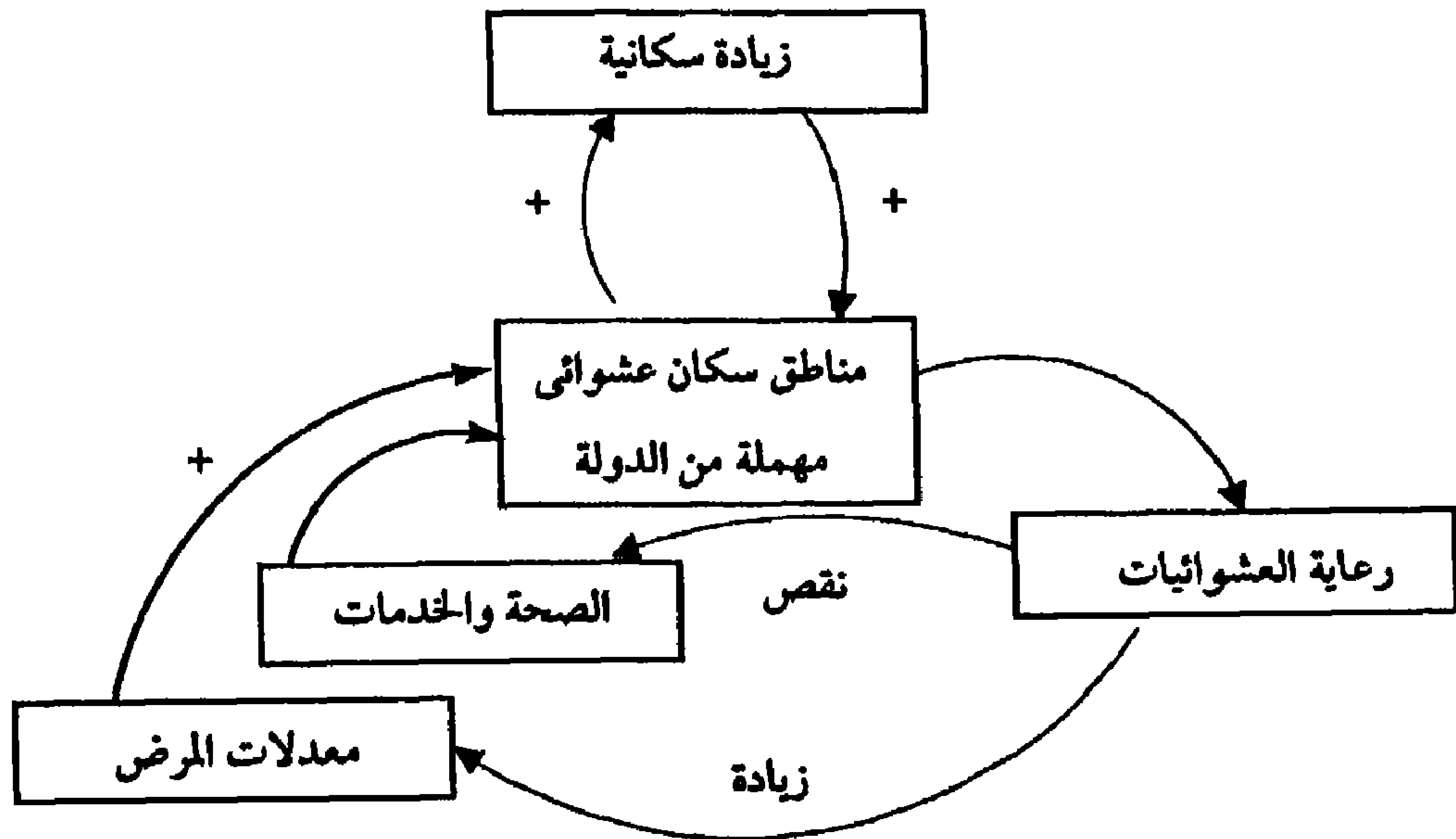
- أدت الزيادة السكانية فى مصر مع عدم توفير الحكومات المتتالية لمساكن لائقة فى القرى المصرية، وكذا فرص عمل مناسبة، أدت إلى هجرة عشوائية من الريف إلى الحضر وإقامة مناطق سكنية عشوائية (أكثر من ٨٠٪ من المجتمعات السكانية فى مصر عشوائيات طبقا لبعض الإحصائيات)، وهذا يعنى أن المجتمع الريفى، وردا على عدم الاهتمام، تحرك، فى رد فعل إيجابى، إلى المدن للبحث على مأوى مناسب وخدمات أفضل وفرص عمل، وكلما ازداد عدد السكان ازداد حجم المناطق العشوائية (شكل ١٠)




*شكل ٧: تفاقم العشوائيات فى مصر يعبر عن تغذية استرجاعية موجبة*

• أدت زيادة عدد المناطق العشوائية، وعلى مـر عقود، إلى ضعف الخدمات الصحية والثقـافية والبنية التحتية (ميـاه صالحة - صرف سليم على أسس هندسية. . . .).

• أدى غـياب أو ضـعف الخدمـات إلى زيادة مـعدلات انتـشار الأمـراض وضعف مسـتوى الصحة العامة والخـدمات الصحية كـما يتضح فى شكل (١١). وسوف نناقش موضوع البيئة السكانية العشوائية فى مصر فى جزء لاحق من هذا الفصل.




*شكل (١١): التغذية الاسترجاعية فى مناطق السكن العشوائى بمصر*

## ٤- المجتمعات البشرية والأنظمة التكنولوجية:

**Human Societies and Techno-ecosystems:**

إن التفاعل بين الأنــواع المختلفة من الكائنات الحية والبـيئة يعتـمد على عدة عـوامل من أهمهـا التركـيب الشكلى للنوع ودرجـة التكيف وحـجم وديناميكيـة الأهلات أو العشائر أو المجتمعات (مـثل معدل الزيادة فى التعداد والعوامل المحددة للبقاء ودرجـة التوازن بين التعداد والمصادر. . . إلى آخره). وذكـرنا سابقا فى هذا الفصل أن كل نوع له دور بيئى Ecological Niche. والأفراد لهم أيضاً دور بيئى فى النظام البيئى البشرى وهذا الدور يشتمل على الأنماط التى يتفاعل بها البشر مع الأنواع الأخرى (مـثل المحاصيل والأنواع الداجنة - الـتى تربى للثروة الحيـوانية - والأنواع المستأنسـة مثل القطط والكلاب - والنباتات الطبيعـية والأعشاب. . . إلى أخر القائمة).

ويتضـمن الدور البشرى نمط التـحكم فى المواد والطاقة خلال النظام البـيئى البشـرى، فالنظـام البيئـى البشرى يتـسم بوجود مـدخلات للطـاقة (مثل الـطاقة الكهربائية - الوقود. . إلى آخره) ومواد (مثـل المواد الخام المستخدمة فى الصناعة أو التغذية) وأيضاً مخـرجات للطاقة (مثل الطاقة الناشئة عن تشغيل جـهاز أو مصباح كهربائى أو سيارة. . . إلى آخر ذلك) ومخرجات للمادة (النفايات بكافة صورها).

إننا كعلماء للبيئة نلاحظ أنه فى الأنواع الأخرى، غـير البشر، يقتصر الدور البيئى على تركـيب الكائن الحى وعلى غرائزه وسلوكه الموروث، فهو بصـفة عامة دور محـدد وراثيا. أما الدور البـيئى للبشـر فيتدخل فـيه، بالإضافـة إلى الغرائز الموروثة، عاملان هما الفكر (ثقافات المجتـمعات) والإرادة. أما عن وظيفة الغرائز فى تحديد دور الإنسان فى النظام البيئى البـشرى فنستطيع أن نقر بأن الإنسان كائن حى له متطلبـات غرائزية لا يستـطيع الحياة بدونهـا، ولكن الثقافـات تختلف من مكان لآخر، ومن ثم فـإن الدور أو الوظيفة البيـئية Ecological Niche التى يقوم بها الإنســان تختلف تبعـا للميراث الثقـافى والوضع الاقتصـادى ومستوى التـقدم التقنى وغير ذلك من المتغيرات. ومن ثم لا يمكننا أن نجـد تعريفا عاما لدور البشر فى البيئة الإنسانية.





وبناء على ما سبق فقد قسم (Clapham,1981) المجتمعات البشرية إلى أربعة أنواع:

١- مجتمعات القنص والصيد وجمع الغذاء. Huntening and Gathering Societies.

٢- مجتمعات زراعيةAgricultural Societies، وهى تنقسم إلى:

أ- مجتمعات زراعية متأصلة (بدائية): Subsistence level village farmers

ب- مجتمعات عمرانية معتمدة على الزراعة. (Agriculture - based Urban communities)

٣- مجتمعات صناعية Industriol Societies وهى تنقسم إلى:

أ- مجتمعات صناعية عمرانية Industrial Urban Communities.

ب- مجتمعات صناعية متقدمة Advanced Industrial Societies.

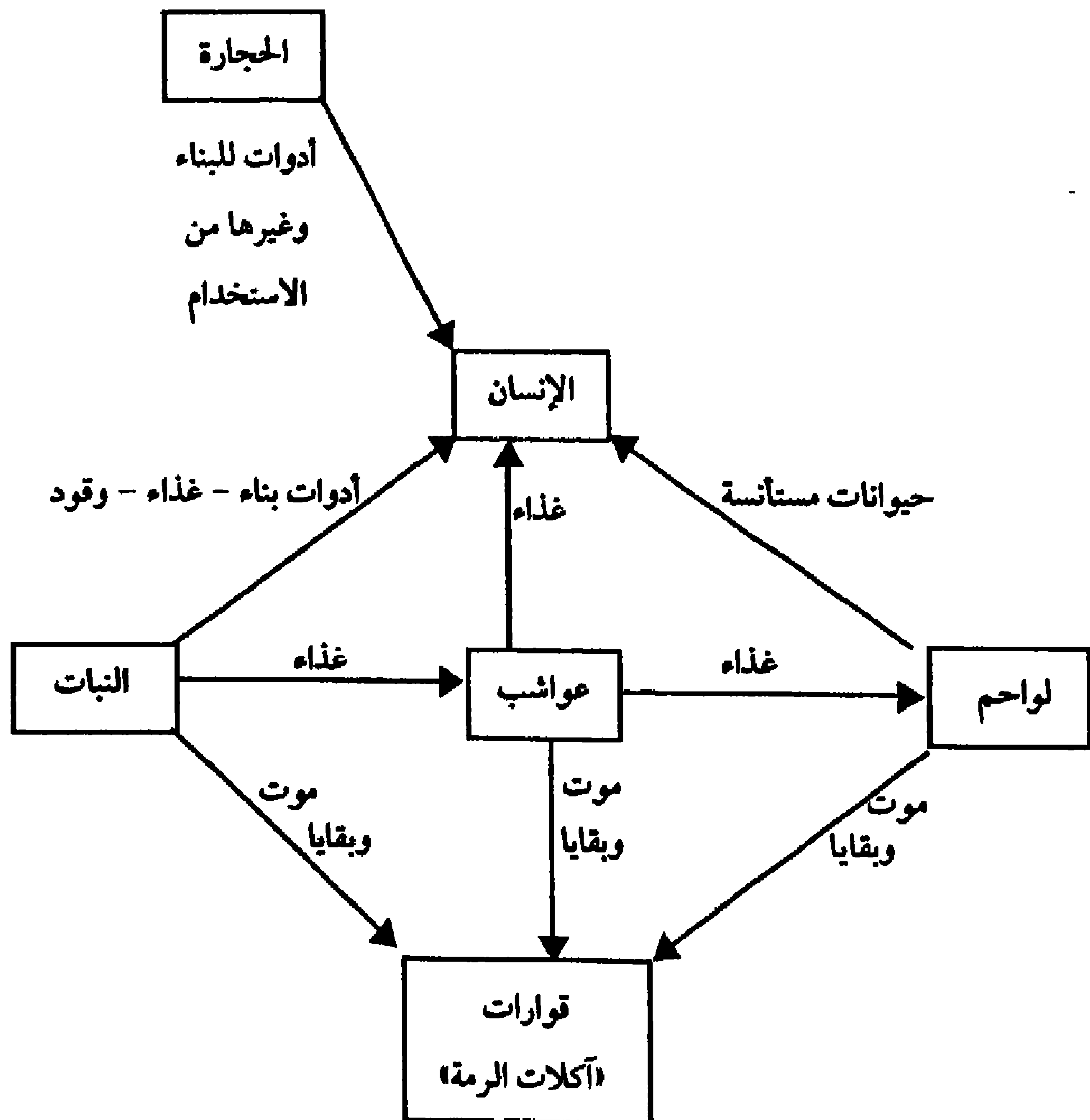
**١- مجتمعات القنص والصيد وجمع الغذاء:**

هى أبسط أنواع النظم البشرية الاجتماعية وأكثر الأنظمة البيئية البشرية بساطة، وتلك الأنظمة هى التى سادت فى التجمعات البشرية لإنسان ما قبل التاريخ، وتتميز تلك المجتمعات بأن اقتصادياتها شديدة البساطة حيث تشبه السلسلة الغذائية لأى نوع من الكائنات الحية (شكل ١٢)، إلا أن هذه السلسلة الغذائية تختلف عن باقى الأنواع فى أن الإنسان يعتبر من العواشب (آكلات النبات - herbivores) اللواحم (آكلات اللحوم - carnivores) ومن ثم فالإنسان يدخل فى مستويات متعددة فى السلسلة الغذائية (راجع السلاسل الغذائية - الفصل الرابع). فالغذاء البشرى فى مجتمعات القنص يتكون من حيوانات برية ونباتات برية يمكن جمعها من أماكن تجمع الإنسان. والإنسان جامع الغذاء - يمكن أن يستخدم الأخشاب كوقود والأحجار كأدوات للبناء أو الصيد. وتترك الأنظمة البشرية البدائية بقايا بسيطة عبارة عن مخلفات بشرية وبقايا الوقود غير المستخدم.





وتنقسم تلك المجتمعات إلى مـجتمعات متنقلة (Nomadic)، وهى تجمعات بسيطة وتترك آثارا بسـيطة لوجودها، وتجمعات شبه مـستديمة (Semipermanant) وهى تترك آثارا تدل على وجودها فى بيـئة معينة لفترة زمنية طويلة نسـبيا، وسبب بقاء تلك المجتمعات ربما يرجع إلى استخدامها لطرق أكثر تطوراً فى جمع الغذاء. وتتمـيز تلك المجتمـعات بأن تعدادها أكـثر من المجتمـعات الرحالة، كمـا أن بها تقسـيمـا للعمل والواجـبات بين الأفـراد. والتأثيـرات البيـئية الـتى تتركهـا تلك المجتمعات سواء كانت من المجتمعات الرحالة أو شبه المستديمة تعتبر بسيطة نسبياً.




شكل (١٢): اقتصاديات مجتمع القنص وجمع الغذاء

## ٢- المجتمعات الزراعية Agricultural Societies:

تحصل المجتمعات الزراعية على أكثر غذائها من المحاصيل الزراعية، بالإضافة إلى لحوم الحيوان وبعض المنتجات الحيوانية. وقد نشأت المجتمعات الزراعية البدائية من مجتمعات القنص وجمع الغذاء التى تميزت بالنظام والغنى حيث كانت تلك المجتمعات تختزن بعض الحبوب. وبدأت النشأة الأولى للمجتمعات الزراعية نتيجة تعلم الإنسان أن كمًّا قليلاً من الحبوب يمكن أن يعطى كميات أكثر فى نهاية الموسم إذا ما زرع فى التربة، وقد ساعد هذا الاكتشاف التجمعات البشرية على تلبية احتياجاتها الغذائية.

وكان لتكنولوجيا الزراعة تأثيرات واضحة على الأنظمة البيئية، فالزراعة تتطلب إحداث تغيرات فيزيائية وبيولوجية فى البيئة نتيجة العمليات الزراعية مثل تقليب الأرض وإزالة الأعشاب..... إلى آخره، فالحقل المزروع نظام بيئى مختلف تماما فى جميع النواحى الجيوكيميائية والبيولوجية عن المراعى أو الغابات الطبيعية.

### أ- المجتمعات الزراعية البدائية (Primitive Agricultural Communities):

تختلف تلك المجتمعات اختلافا كثيراً عن مجتمعات القنص والصيد شبه المستديمة والفرق الجوهرى يكمن فى أن المجتمعات الزراعية البدائية تحصل على كم أكبر من الغذاء نتيجة عمليات الزراعة وتربية الحيوانات الداجنة، أما القنص فيمدها بالقليل من الغذاء، وتوجد مجتمعات شبيهة حتى اليوم فى بعض مناطق أفريقيا وجنوب أمريكا وبعض المناطق الآسيوية. وكانت تلك المجتمعات متواجدة فى بعض البلاد الأوروبية منذ أكثر من مائة عام. وتتفاوت تلك المجتمعات فى درجة تطورها، فالمجتمعات شديدة البدائية تتميز بوجود حقول صغيرة وغير منقاة من الأعشاب والأشجار وتتم الزراعة بطرق شديدة البدائية وباستخدام أدوات بسيطة مثل العصى لعمل حفر صغيرة فى الأرض ووضع البذور. وبعض المجتمعات





البدائيـة أكثر تطورا حـيث تستخـدم أدوات بسيطة مثل الفـؤوس أو المحاريث التى تجرها الحيوانات المستأنسة. وتلك الطرق تعطى إنتاجية أكثر من المحاصيل الزراعية.

**ب- مجتمعات ما قبل المدن الصناعية (مجتمعات عمرانية معتمدة على الزراعة):**

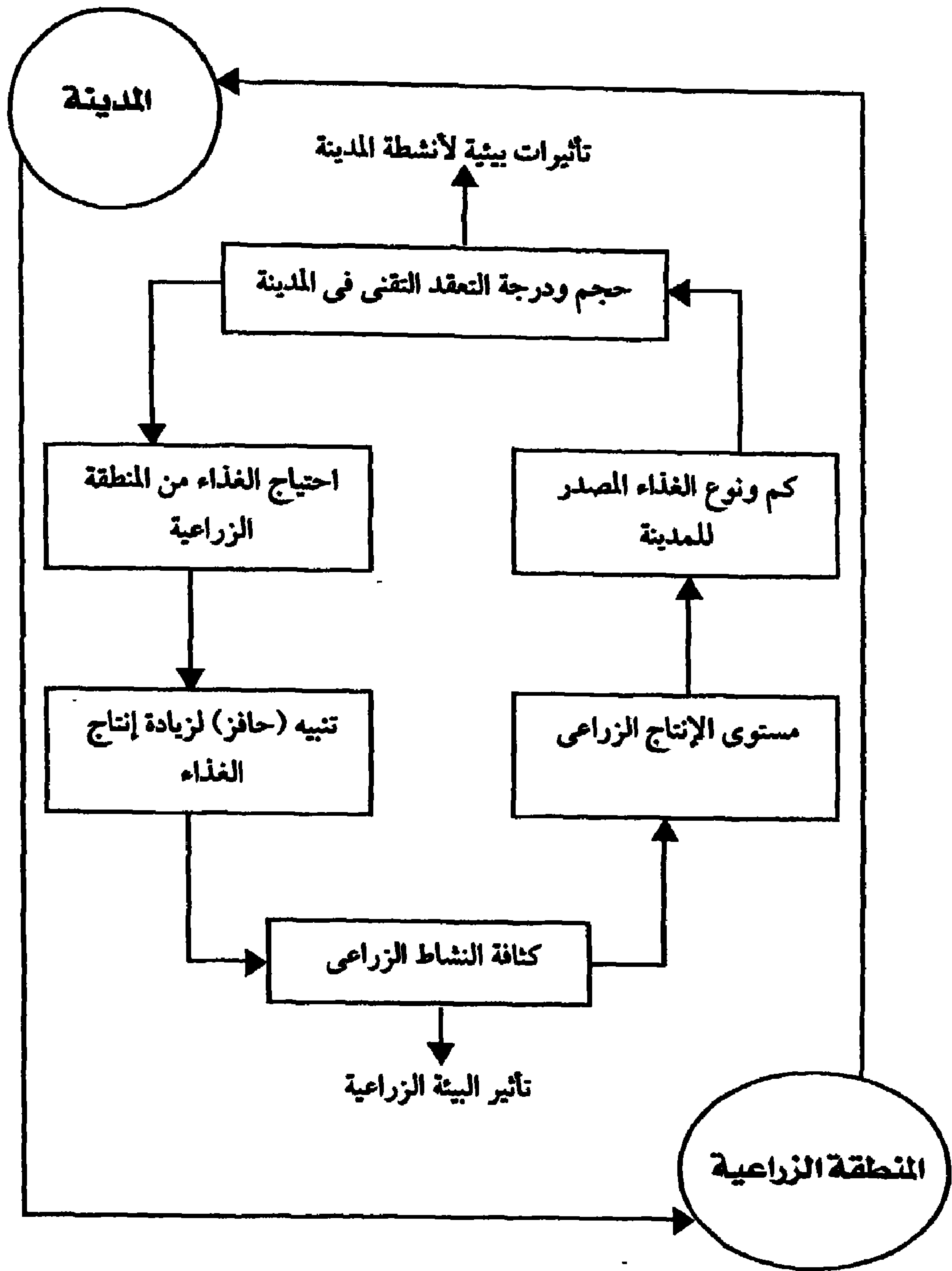
**(Preindustrial urban Societies)**

تواجدت المدن منذ أكثـر من ثمانية آلاف عام، وخلال تـلك الفترة لم تكن هناك صناعات يعتـد بها إلا فى خلال الأربعة أو الخمسة قـرون الأخيرة. وبالرغم من ذلك فإن الاقتصاديات البيئية تختلف عن المجتمعات الزراعية البيئية اختلافاً تاماً نتيجة وجود تفاعلات مختلفة بين المجتمع والبيئة.

القليل من الغذاء ينتج فى المدن (نظراً لقلة الزراعة)، ومن ثم فإن بقاء المدن يعتمد على قـدرة المجتمعات الزراعيـة على إمدادها بالغذاء. وفى نفس الوقت تمد المدن المزارعين باحتياجاتهم من الأدوات والتـقنيات الزراعية ومع تكون ثقافة المدينة كجزء من ثقـافة المجتمع يبـدأ الارتباط بين المدينة والضواحى كمـا هو موضح فى شكل (١٣).

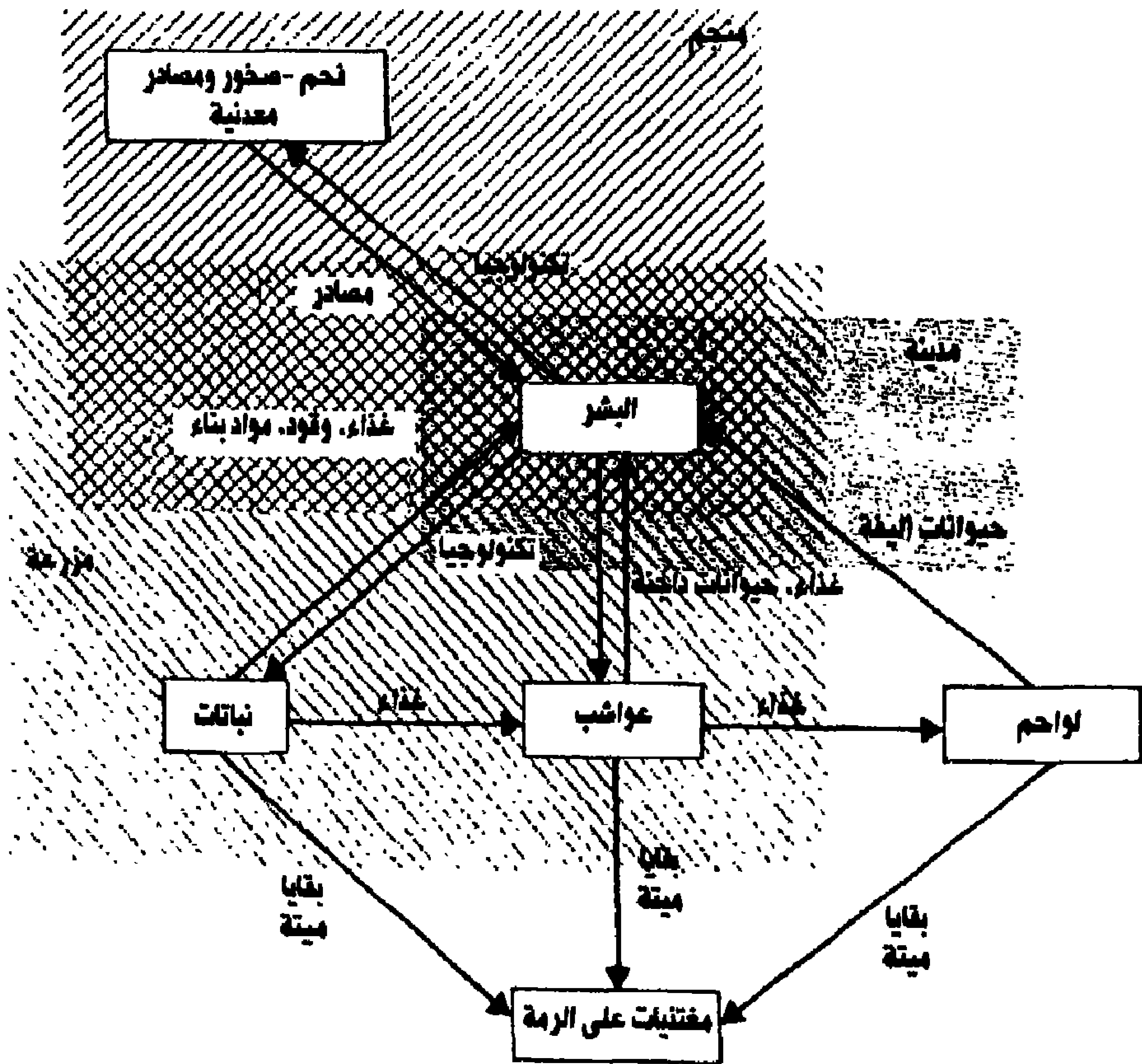




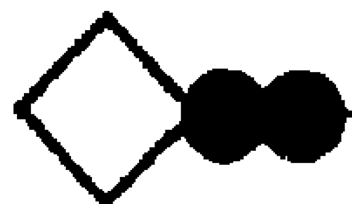



*شكل (١٣): ارتباط النمو الزراعى والعمرانى فى المدن المعتمدة على الزراعة. ويلاحظ من الشكل وجود تغذية استرجاعية نتيجة الاعتماد المتبادل بين النمو الزراعى والعمرانى إذ يعتمد نمو كل منهما على الآخر حيث إن التقنيات التكنولوجية الزراعية تزيد من إنتاجية المزارع والنشاط الزراعى، مما يؤدى إلى زيادة أكثر فى حجم المدينة أو العمران المعتمد على الزراعة.*

وفى البداية، كانت المدن أسواقا ومـراكز لصناعة الملابس والأدوات، وأيضاً كانت مراكز دينية. ويـعطى شكل (١٤) ملخصاً لاقتصاد البيئـة فى مجتمع بشرى بسيط. أمـا عمليات التعـدين والصناعات المرتبطة به فتعـتبر عوامل هامـة فى بقاء المجتمع، فعلى سبيل المثال تعتبر صناعة الأدوات الزراعية البسيطة مثل الفؤوس لها أهميـة فى زيادة الإنتاج الزراعى. ومع نمو تكنولوجيـا التعدين ارتفعت مـعدلات أنشطة استـخدام الغابات حـيث كانت الأخـشاب تستـخدم كوقـود وأيضاً للطهى ولإنتاج الطاقة الحرارية. وهناك أنظمة غابية انقـرضت مع تنامى مجتمعات ما قبل المدن الصناعيـة، ومن أمثلة ذلك غابات خـشب الأرز التى تدهورت فى لبنان مع تنامى مجتمع ما قبل المدن الصناعية ودمرت تماماً فى نهاية القرن العشرين.




*شكل (١٤): الاقتصاد البيئى لمجتمع سكنى. ويلاحظ من الشكل أن بقاء المدينة يعتمد على شبكة من العلاقات بين الزراعة والتعدين والنقل (عن Clapham,1981). قارن بين هذا الشكل وشكل(١٣)*







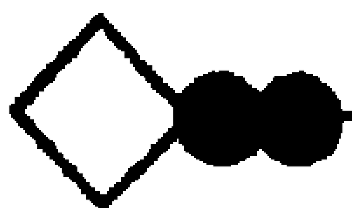
والمجتمع الأحيائى فى المدينة يتكون أساسا من البشر، بالإضافة إلى الكائنات التى لا يمكن التخلص منها مثل الميكروبيات وناقلات الأمراض والطفيليات وغيرها، أضف إلى ذلك بعض الحيوانات التى يستخدمها الإنسان للنقل أو الترفيه وأيضا بعض الأنواع التى تتخذ من المناطق السكنية بيئة بديلة عن بيئتها الأصلية للتكاثر مثل الطيور التى تستوطن المناطق السكنية.

**٣- المجتمعات الصناعية Industerial Societies:**

لقد أدت الثورة الصناعية إلى نمو هائل فى المدن وإحداث العديد من التعقيدات الاجتماعية. وقد نشأت المجتمعات الصناعية نتيجة لتداخل عوامل سياسية وثقافية واجتماعية ودينية وتكنولوجية بين القرن السادس عشر والثامن عشر فى شمال غرب أوروبا. أحدثت الثورة الصناعية تطورات هائلة فى وظيفة الماكينة حتى أصبحت تقوم بأداء جزء كبير من دور الإنسان والحيوانات المستأنسة فى الزراعة والنقل وغير ذلك، وكما ذكرنا سابقاً، يمكن تقسيم المجتمعات الصناعية إلى مجتمعات عمرانية صناعية ومجتمعات عمرانية متطورة.

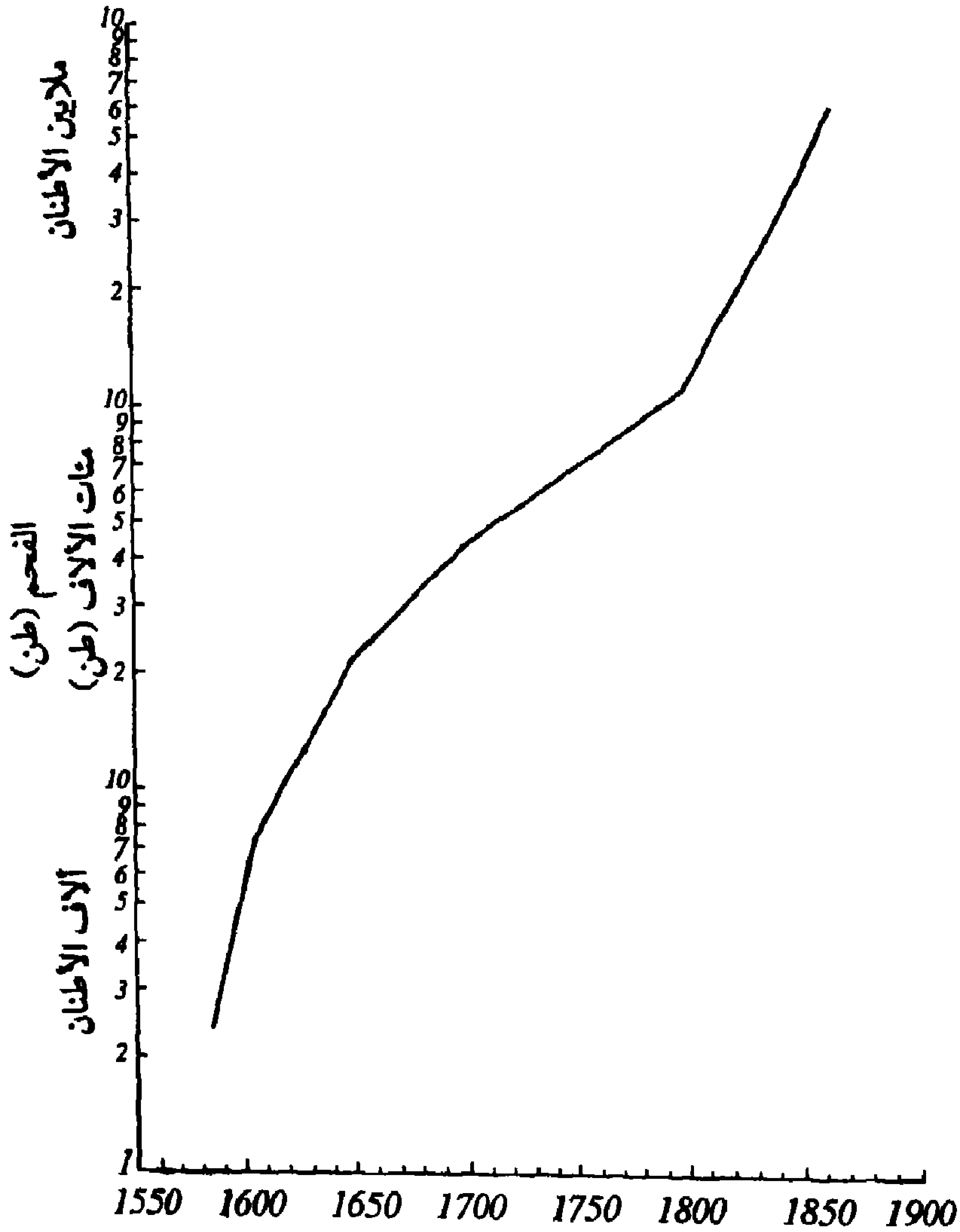
**أ- المجتمعات العمرانية الصناعية Urban Industrial Societies:**

هناك تشابه بين المجتمعات الصناعية العمرانية والمجتمعات العمرانية المعتمدة على الزراعة (مجتمعات ما قبل المدن الصناعية Preindustrial Urban Societies)، وهذا التشابه يكمن فى أن بقاء المدن يعتمد على الغذاء الذى ينتج فى المناطق الزراعية وعمليات التعدين فى ضواحى المدينة، كما تمد المدينة المزارع والمناجم باحتياجاتها من التكنولوجيا المطلوبة للزراعة والتعدين. ولكن الاختلاف بين المجتمعات العمرانية الصناعية ومجتمعات ما قبل المدن الصناعية يكمن فى أن مجتمعات ما قبل المدن الصناعية تستخدم الوقود للطهى وصهر المعادن والأنشطة المشابهة، على عكس المجتمعات الصناعية التى تستخدم الوقود - مثل الفحم - لتشغيل الماكينات؛ وهذا بالطبع يحتاج لكميات أكبر بكثير من الوقود من تلك التى كانت تستخدم فى مجتمعات ما قبل المدن الصناعية، ومن ثم فقد ارتفع معدل التعدين فى المجتمعات الصناعية لتشغيل الماكينات وأيضاً تطورت عمليات نقل الفحم إلى المدن.





والتأثيرات البيئية لعمليات التعدين وخاصة الفحم تؤدى إلى آثار بيئية سيئة. ومع تشغيل الماكـينات بالوقود ازداد الطلب على المعادن وازدادت عملـيات التنقيب عن المعادن بصفـة عامة لبناء الماكينات وإخراج المنتجـات الصناعية. ويوضح شكل (١٥) معدل الزيادة فى استهلاك الفحم فى لندن على مدار خمسة قرون.




***شكل (١٥): استهلاك الفحم فى لنـدن (بالطن)، وقد ارتفع معـدل استهـلاك الفحم فى القرن السادس عـشر والسابع عشـر بعد إحلال الفم محل الخشب الـذى كاد أن ينفد فى بريطانيا فى ذلك الوقت. أما الزيادة فى الاستهلاك بعد عام (١٨٠٠) فكانت نتيجة الثورة الصناعية (عن Clapham,1981).***

إن التأثير البيئى للمدن الصناعية أعلى بكثير من مدن ما قبل الصناعة نظراً لأن مكونات الاقتصاد البيئى فى مدن ما قبل الصناعة يكاد يكون غائباً أو غير هام. أما الثورة الصناعية فقد صاحبتها اقتصاديات بيئية معقدة أدت إلى تلوث الهواء والماء بدرجات لم تكن معروفة من قبل. فالمخلفات الصناعية تختلف تماما عن المخلفات العضوية للإنسان فهى أكثر ضرراً للبيئة، حيث إن الصناعة تؤدى إلى إنتاج مواد لم تكن موجودة من قبل، وتلك المواد عبارة عن منتجات صناعية وأيضاً مخلفات عمليات الصناعة.

**ب- المجتمعات العمرانية الصناعية المتطورة:**

**Advanced Industrial Urban Societies:**

لقد حدثت تغيرات رئيسية فى تنظيم وعلاقات المجتمعات الصناعية على مدى الستين عاماً الأخيرة، حيث ذكر (Galbraith, 1967) أن الثلاثين عاما الأخيرة (ويقصد هنا قبل عام ١٩٦٧) قد شهدت تغيرات جذرية فى المجتمعات الصناعية.

قسم (Bogue, 1949) الوظائف فى مجتمع المدينة إلى أربعة أقسام وهى: تجارة تجزئة، تجارة جملة، تصنيع وخدمات. أما التجارة فكانت، كما ذكرنا سابقاً، وظيفة أساسية فى مدن ما قبل الثورة الصناعية ولكن ما يميز المدن الصناعية هو عمليات الصناعة وارتفاع مستوى الخدمات. ويرتفع معدل استهلاك الوقود والغذاء والمعادن للفرد فى المدن الصناعية عن المدن القديمة، كما ارتفع معدل انسياب المواد الخام من مناطق إنتاجها إلى المدينة بمعدلات عالية.

ارتفع أيضاً معدل الزيادة فى انسياب المواد والخدمات من المدينة إلى الضواحى (مناطق الزراعة والتعدين)، وتنامت التقنيات للحصول على الطاقة من مصادر متعددة خلاف الفحم مثل الطاقة المستخرجة من البترول والغاز الطبيعى والطاقة النووية... إلى آخره. وظهرت الميكنة الزراعية والكيماويات الزراعية (المبيدات والأسمدة) مما أدى إلى ثورة زراعية، ومن هنا ارتفعت درجة انسياب الأغذية والمواد الخام من القرى والضواحى إلى المدينة وارتفع أيضا معدل انسياب





الطاقـة والمواد من المدينة إلى الضـواحي فى صـورة ماكـينات ومـواد كيـمـيائيـة للزراعة . . . إلى آخر القـائمة. ومن ثم فقد ارتبطت المدن بالضـواحى بشكل أكثر تعقيدا وخاصة فى الأعوام الأخيرة. ونتيجة ذلك ظهرت مشاكل بيئية خاصة بالمدن وأخـرى خاصـة بالضـواحى ومن تلك المشـاكل التـخلص من النفـايات فى المدن والتخلص من بقايا المبيدات ومخلفات التعدين فى البيئة الزراعية والضواحى ولكن النظام البيـئى فى الريف لا يمكنه التخلص من المخلفات بـنفس الكفائة فى النظام البيئى للمدن.

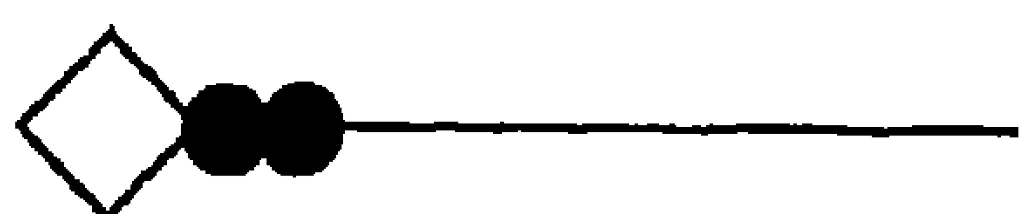
وعمـوما يمكن القول بأن المدن الصناعـية الحديثة أو المتـطورة تتميز بكثـافة سكانيـة عاليـة ومعـدلات أكـثر فى الاسـتهـلاك، وخاصـة الطاقـة الكهربائيـة. والصناعات الثقـيلة علامة مميزة فى مدن شمال أمـريكا ووسط أوروبا ولها تأثيرات بيئية ضارة على النظام البيئى البشرى وأيضا النظام البيئى الطبيعى.

## ٥- بيئة المسطحات Landscape Ecology:

### ١- مقدمة Introduction:

يهتم علم المسطحـات البيئـية Landscape Ecology بدراسة نمو وديناميـكية تغاير الخواص (عـدم التجانس) فى حيـز معين Spatial Heterogeneity، وتبادل التفاعلات الزمانية والمكانية (الفراغيـة) فى المسطحات متغايرة الخواص، وتأثير عدم التجانس المكانى على العمليات الحيوية وغيـر الحيوية، وأخيرا إدارة التغاير أو عدم التجانس لصـالح وبقاء المجتمعات، ومن ثم، فـإن هذا العلم هو فرع متكامل من الدراسة يزاوج النظريات البيئية بالتطبيق العملى.

إن لفظ المسطحات Landscape يعنى تكاملا بين البشـر والطبيعة (Colow, 1999)، فـهـذا اللفظ فى قـامـوس ويبـسـتـر يعنى أشكال الأرض أو المسطحـات (Land Scape =Land forms) فى منطقة مـعينة. ويبدو أن هـذا الفرع من العلوم البيئية قد بدأ ظهوره فى منتـصف الثلاثينيات من القرن الماضى حيث أعطى علماء البيئة أول تعريف لهذا العلم.





بدأ علم المسطحات فى شـمال أمريكا فى الثمانينيـات من القرن الماضى مع تكون الرابطة الدولية لبيئة المسطحات International Association for Landscape Ecology-IALE وعقـد اللقاء الأول للرابطة فى جـامعة جـورجيا فى يـنـاير عام ١٩٨٦، وتلى ذلك ظهور أول عدد من مجـلة بيئة المسطحات "Landscape Ecology" عـام ١٩٨٧ . وهناك العديـد من المراجع التى عـالجت علم بيئـة المسطحـات ومن أهمها:

Naveh and Lieberman, 1984; M. G. Turner, 1987; Hansen and Castri, 1992; Forman, 1997; Barrett and Peles, 1999; Klopatek and Gardner, 1999; M. G. Turner et al., 2001;

ويلاقى الآن علم المسطحات البـيئية قـبولا عاما من علمـاء البيئة كـفرع من علوم البيئة الحـديثة يعالج العلاقة بين الإنسان والمسطحات الطبيـعية والمنشآت التى يقيمها البشر اعتمادا على التكنولوجيا Human-built Technolandscapes. ويمدنا هذا الفـرع من علوم البـيئـة بالأسس العلمـية لمجـالات عديدة مـثل التـصمـيم والتخطيط والإدارة والحماية وحفظ الأنواع وإدارة الأراضى وغيرها من الموضوعات المرتبطة بالمسطحات. إن تغـير المسطحات لا يعـزى فقط إلى العلاقات والعـمليات الطبيعـية فى النظام البيـئى، ولكنه يعزى أيضاً إلى عمليـات أو عوامل اجتمـاعية وسياسية واقتصادية.

### ٢- عناصر المسطحات Landscape Elements:

تتركب فـسيفـساء (مـجموعـة عناصر) Lanscape Mosaic المسطحات من ثلاثة عناصر رئيسية وهى: أنسجة المسطحات Landscape Matrices، ورقع أوقطع المسطحات Landscape Patches، وأرصفة أو ممرات المسطحات Landscape Corridors.

أنسجـة المسطحات Landscape Matrix هى عبـارة عن مساحة واسـعة من الأنظمة البـيئيـة المتشابهـة أو الكساء النباتى المتـشابه (مثل البـرارى أو الغابات أو المناطق الزراعية الشاسـعة)، وتنطمر الرقع والأرصفة فى أنسجة المسطحـات البيئية



أى أن الأنسجة Landscape patches and corridors are embeded in the matrix (المساحات الواسعة) تأوى أرصفة ورقع. والرقعة هى منطقة متجانسة نسبيا ولكنها تختلف عن النسيج المحيط بها (مثل غابة طبيعية صغيرة فى وسط مساحات زراعية شاسعة). والرقعة تختلف عن النسيـج المحيط بها، فهى إما أن تكون عالية الجودة أو منخفـضة الجـودة تبعاً للكـساء النباتى فى الرقـعة أو نوعـية النبـات أو تركيب المجتمعات الحية فى الرقعة.

أرصفة المسطحات Landscape Corridors: هى عبارة عن أشـرطة تختلف عن النسيج وهى إما أن تكون موجودة بشكل طبـيعى أو مصممة لربط «رقع» ذات بيئة متـشابهة، فعلى سبـيل المثال يمكن اعتبار أحد الجـداول بالكساء النباتى الذى ينمو على ضفافه رصيف طبيعى للمسطحات الطبيعية. وغالبا ما تتشابه المجتمعات النباتيـة فى الرصيف ولكنها تخـتلف عن النسيج المحيط بهـا (ومن هنا يمكن تميز الأرصفة عن الرقع داخل نسيج المسطحات الطبيعية).

يمكن النظر إلى فسيـفساء المسطحات Landscape Mosaic على أنها منطقة غير متجانسة تتكون من تجمعات من المجتمعات الحية والأنظمة البيئية المختلفة. كل نسيج Matrix فى الفسيفساء يتكون من أنظمة متـشابهة فى الوظيفة والمنشأ. وكما ذكرنا، الرقع، "Patches" هى مناطق متجـانسة نسبيا ولكنهـا تختلف عن النسيج المحيط بها. وهناك العـديد من أنواع الرقع الطبيعية والصناعـية (من صنع الإنسان) تتواجـد عبر المسطحات المخـتلفة، فعلى سبـيل المثال يمكن أن نجد مـدينة سكنية (رقعة) محاطة بنسيج من الغابات الطبيعية.

أما أرصفـة المسطحات Landscape Corridors، فيمكـن تقسيمهـا إلى عدة أنواع كما يلى عن (Odum & Barett, 2005):

**أ- بواقى (أثار) أرصفة Remnant Corridors:**

وهى تتكون عند إزالة مـعظم الكساء النبـاتى باستثناء شـريط ضيق يحـتوى على نباتات طبيعية، ولها أهميـة فى تعليم البيئة للطلاب وأيضاً تساعد على تكاثر بعض الأنواع.





ب- أرصفة إقلاق Disturbance Corridors:

ومن أمثلتها خطوط الكهرباء الممتدة مئات أو آلاف الكيلومترات فى النظام البيئى الطبيعى (أعمدة كهرباء ممتدة فى غابة) أو طرق ممهدة فى غابات أو ممرات من صنع الإنسان فى أنظمة بيئية طبيعية، وبالرغم من أن تلك الأرصفة تتميز عن البيئة الطبيعية، وتقلل من تجانس المسطحات وتكون بمثابة حواجز تحد من حركة بعض الأنواع إلا أنها قد تعطى مميزات نسبية لبعض الأنواع، فعلى سبيل المثال بعض أنواع الطيور تستعمل أعمدة الكهرباء لإقامة أعشاشها (أماكن توالد)، وأيضا قد تساعد أرصفة الإقلاق على انتشار وحركة أنواع أخرى.

ج- الأرصفة المزروعة Planted Corridors:

وهى أشرطة من الكساء النباتى يزرعها الإنسان لخدمة أغراض بيئية واقتصادية، ومن أمثلتها الأشجار التى تزرع فى المناطق الصحراوية المستزرعة كمصدات للرياح مثل أشجار الكازورينا والكافور وغيرها.

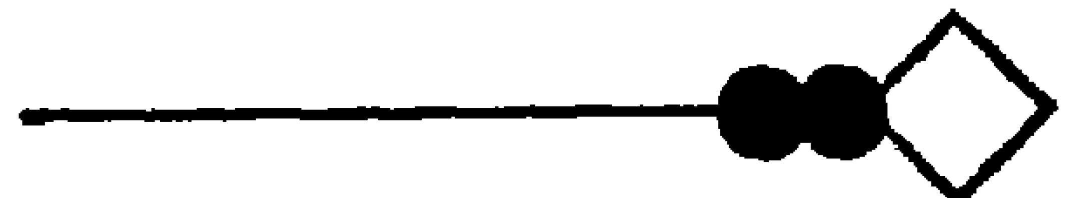
د- أرصفة مصادر Resource Corridors:

وهى أرصفة من الكساء النباتى الطبيعى تمتد لمسافات طويلة عبر المسطحات مثل امتداد شريط من الأشجار لمسافات طويلة على حدود جدول أو نهر، ولهذه الأرصفة أهمية بيئية وفوائد عديدة، ومن بينها الإبقاء على التنوع البيولوجى الطبيعى، وهى يمكن أيضاً أن تجعل البيئة المحيطة أكثر صلاحية للعمليات الزراعية.

هـ- أرصفة تستعيد عافيتها Regenerated Corridors:

هى تنشأ من إعادة نمو رصيف من الكساء النباتى بعد تدمير الرصيف الأصلى نتيجة عوامل بيئية، وتسكن الطيور هذه الأرصفة كما تساعد على نمو تلك الأرصفة من خلال ميكانيكيات انتشار البذور عن طريق حركة الطيور، كما أنها تعتبر مأوى للأعداء الطبيعية للآفات (الأعداء الطبيعية هى أنواع من الكائنات الحية تفترس أو تتطفل على الآفات الزراعية).





## ٣- هندسة المسطحات Lendscape Geometry:

يؤثر حجم وشكل المسطحات على مدى التنوع الحيوى وعلى قدرة الأنواع على الانتشار وعلى سلوك الكائنات الحية وكثافتها، وأوضحت العديد من الدراسات الحديثة الدور الذى تلعبه هندسة المسطحات فى انتشار وتوزيع وتكاثر الحيوان والنبات.

لقد أصبح واضحاً الآن لدى علماء البيئة أن هناك علاقة بين التنوع وكثافة الأهلات (العشائر أو المجتمعات) وحجم النظام البيئى، وقد أوضح (Harris, 1984) أن حفظ التنوع الإحيائى يعتمد على حجم الرقعة فى المسطحات، كما وجد (Harper et al., 1993) أن شكل أو هندسة الرقعة Patch فى المسطحات يؤثر على ديناميكية آهلات بعض الأنواع.

ويلخص شكل (١٦-أ) العناصر البيئية لموزاك «فسيفساء» (Mosaic) المسطحات وهى الرقع، الأنسجة، الأرصفة Patches, Matrices and Corridors. ويعطى شكل (١٦- ب) أيضاحاً لتأثر كثافة الأنواع الداخلية، التى تستوطن داخل النظام البيئى، Interior Species، وأنواع الحواف Edge Species، التى تعيش على حواف أو أطراف النظام البيئى، بحجم وشكل الرقع والأرصفة، وعلى الرغم من أن الرقعتين فى شكل (١٦-ب) تتصلان برصيف إلا أن هذا الرصيف، بالرغم من أنه ضيق، فإنه لا يسمح للأنواع الداخلية بالتحرك بين الرقعتين. ومن أنواع الطيور التى تعيش على الحافة العصفور الأزرق (Bluebird)، وهو طائر شمال أمريكى، ومن أمثلة الطيور الداخلية طائر نقار الخشب Wood pecker، ويعطى شكل (١٦-جـ) إيضاحاً لتواجد وتوزيع الأنواع على الحافة وفى القلب لغابة على شكل شبه جزيرة، ومن الشكل (١٦-د) تتضح أهمية شكل الرقعة حيث إن الرقعة الدائرية تعطى مساحة أكبر من البيئة للأنواع الداخلية، بينما الرقعة الضيقة الطويلة تعطى فرصة أكثر لأنواع الحافة.

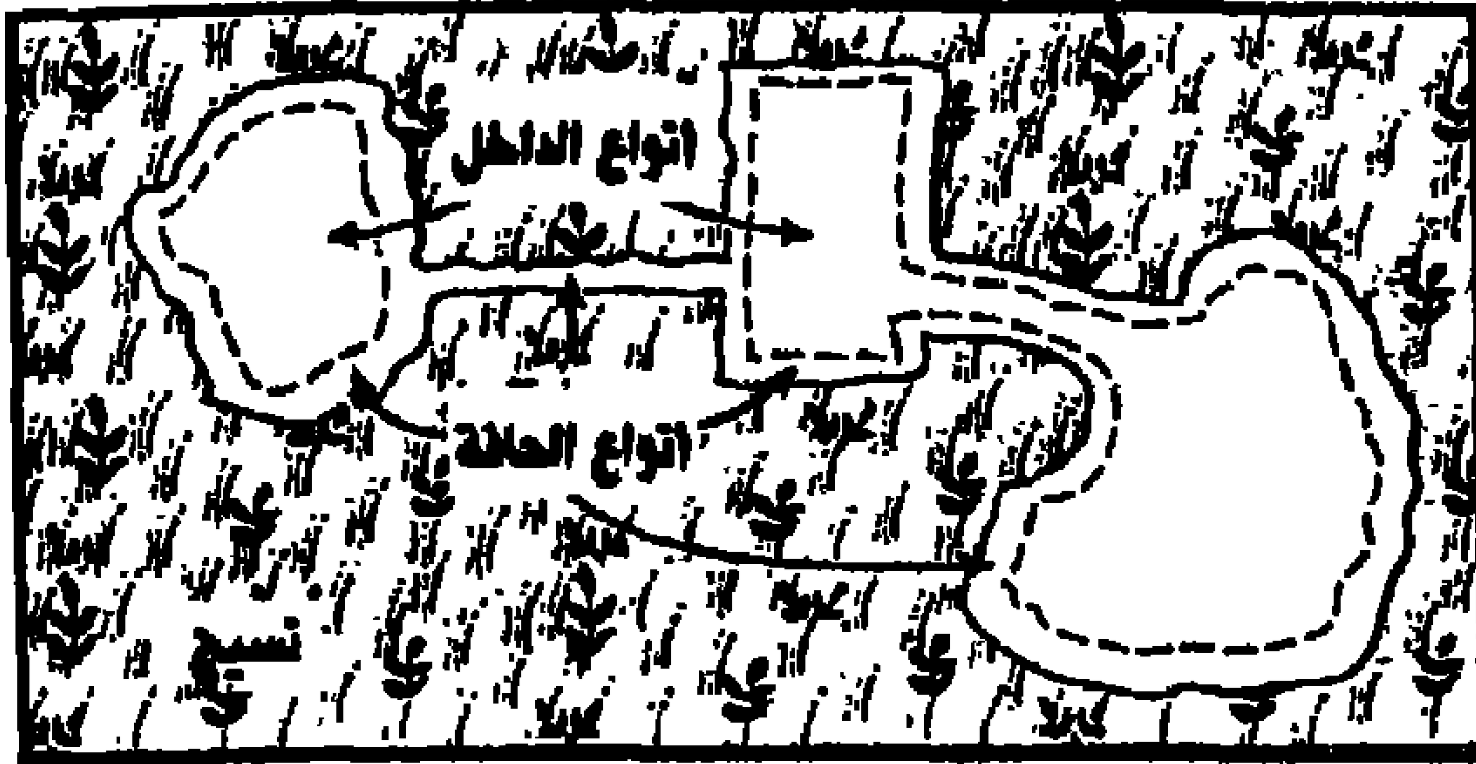




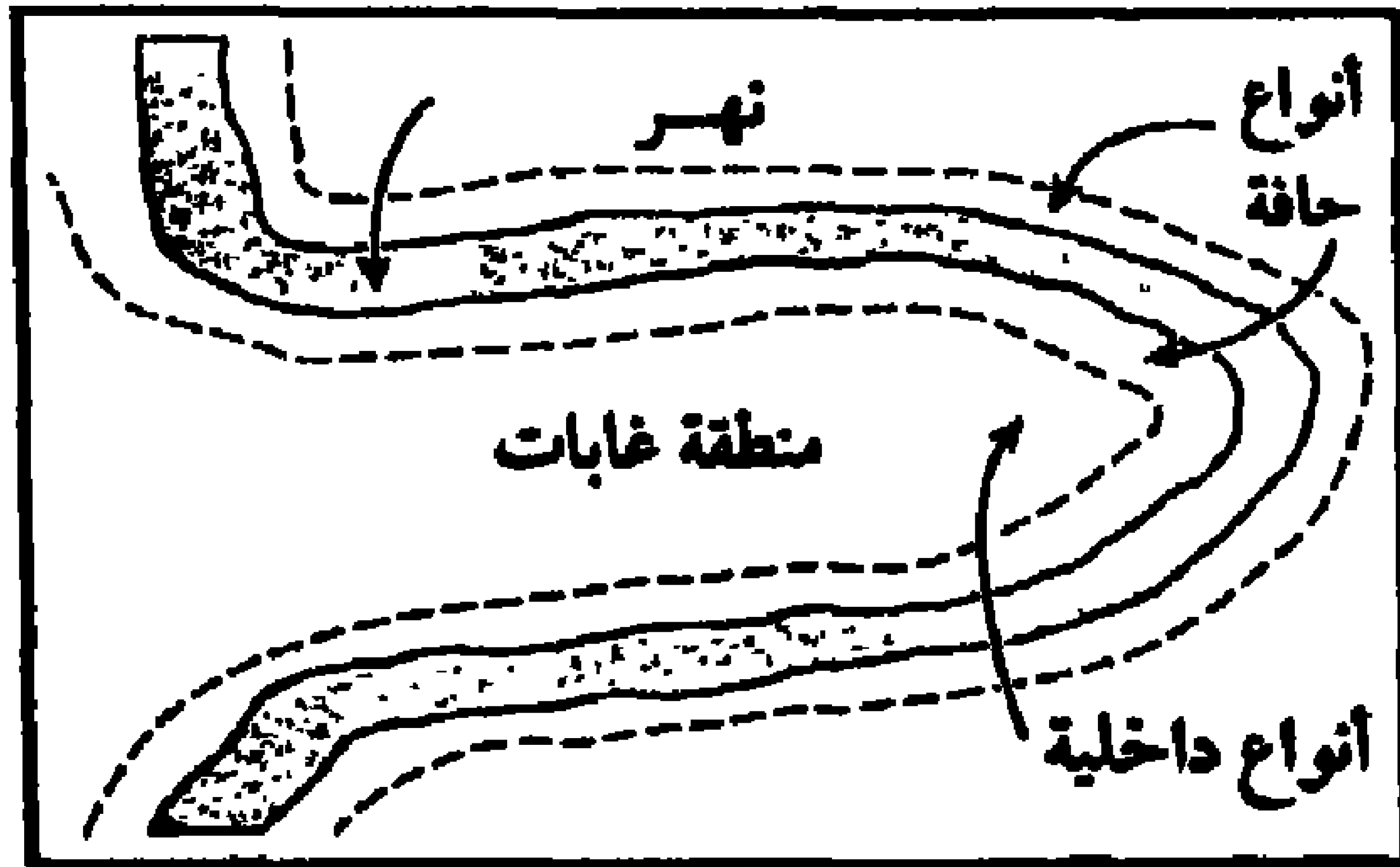
أ



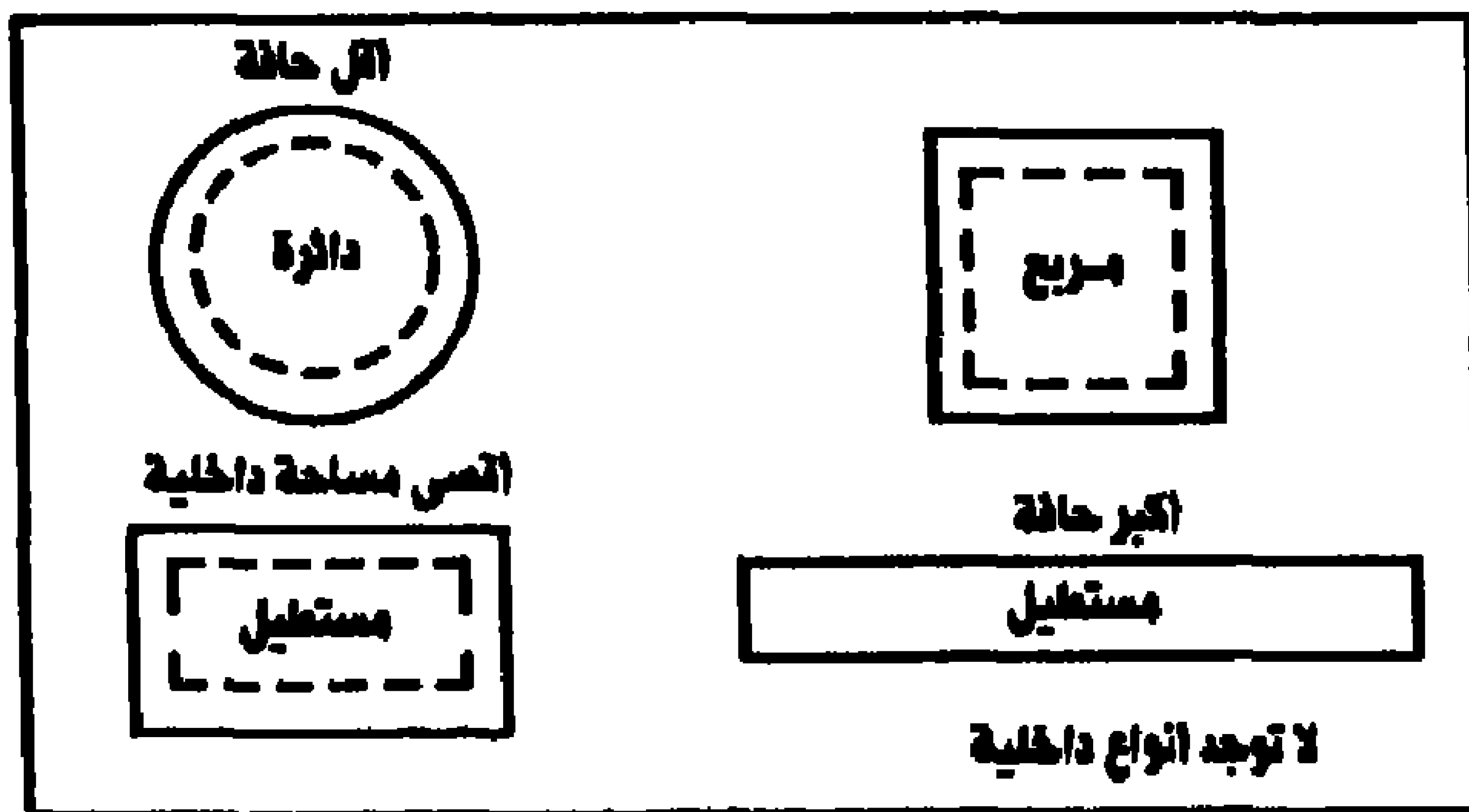

ب




جـ




د



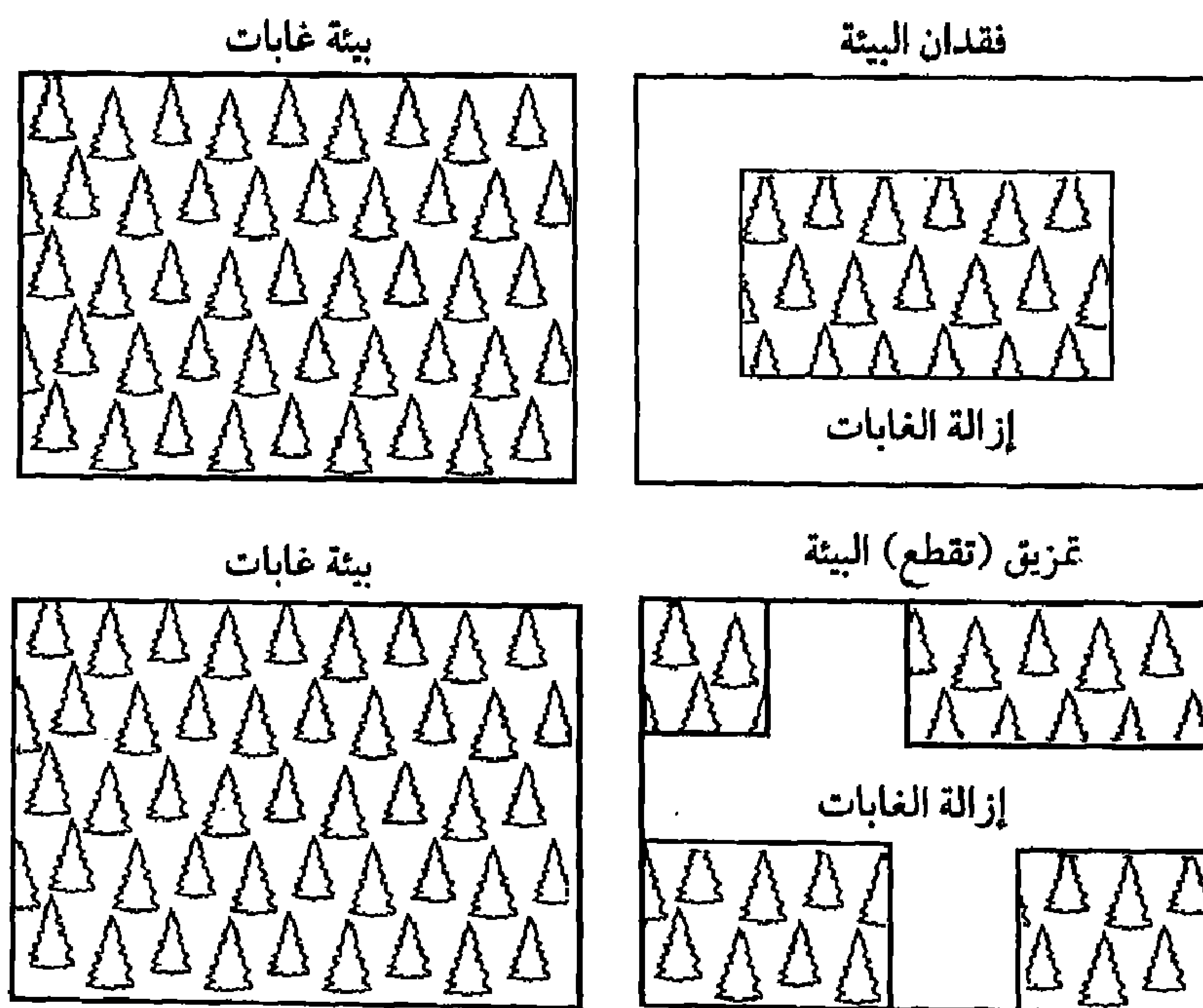

شكل (١٦): أ - عناصر المسطحات (الرقع - الأرصفة - النسيج).

ب - الكثافة النسبية لأنواع الداخل وأنواع الحافة فى الرقعة والرصيف.

جـ- غابة على شكل شبه جزيرة.

د - مثال لإيضاح تأثير شكل الرقع (مستطيل أو دائرى) (عن Odum and Barett, 2005).

لقد أصبح مؤكدا اليوم أن تمزيق المسطحات أدى إلى إحداث فسيفساء من المسطحات تعانى من تغيرات وعشوائية فى عناصرها (النسيج، الأرصفة، الرقع) وهذه التغيرات أدت إلى تمزيق البيئة وتمزيق المسطحات قد يحدث بصورة طبيعية أو نتيجة تدخل بشرى، ولكنه فى النهاية يؤثر على التنوع وتعداد كل نوع وعلى التوازن بين أنواع الحافة والأنواع الداخلية، ويوضح شكل (١٧) الفرق بين فقد البيئة Habitat Loss. وتمزيق البيئة Habitat Fragmentation، ونتيجة لذلك ظهر مفهوم الاستدامة Sustainability وهذا المفهوم له عدة تعريفات، ولكنها تؤدى جميعا إلى نفس المعنى وهو «إبقاء المصادر» Maintenance of Resources سواء كانت مصادر فيزيائية أو بيولوجية.




*شكل (١٧): توضيح الفرق بين فقد البيئة و تمزيق البيئة، وهو فى النهاية يؤدى إلى تقليص المدى الجغرافى الذى يعيش فيه النوع* (Home range)، *بالإضافة إلى التأثيرات المذكورة سابقا (عن* Odum & Barett, 2005).

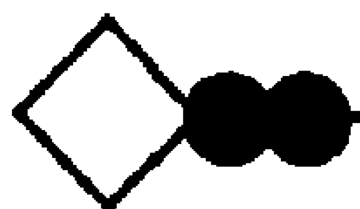
## ٤- المسطحات والمجتمعات العمرانية (المجتمعات البشرية):

ناقشنا أنماط المجتمعات البشرية (مجتمع القنص والصيد، المجتمعات الزراعية، والمجتمعات العمرانية الصناعية... إلى آخره)، وسوف نعطى امتداداً لهذا الموضوع من خلال الحديث عن المسطحات التى تم تطويعها والتى يمكن أن نطلق عليها مسطحات مستأنسة أو مدجنة أو اصطناعية Domesticated Landscapes.

لقد قام البشر بتغيير الظروف البيئية فى الغالبية العظمى من المراعى المعتدلة، ويميل الإنسان بطبيعته إلى إعطاء ملامح خاصة للبيئة التى يقطنها، وعلى سبيل المثال، عندما يقطن البشر مراعى طبيعية ويحيلونها إلى مدن يقيم الإنسان أشجارا حول المنازل ويقيم أيضاً قرى ومزارع، وتنتشر فى المراعى «رقع» "Patches" من الغابات التى زرعها البشر، وفى نفس الوقت عندما يستوطن الإنسان غابة فإنه يقوم بقطع الأشجار ليحل محلها مناطق خضراء مزروعة وشبيهة بالمراعى، وأيضاً يقيم مناطق زراعية، وكل هذا يبدو غير متجانس مع النظام البيئى الأصلى للغابة. والعديد من أنواع النبات والحيوانات البرية يمكنها أن تستمر بالقرب من مساكن الإنسان بالإضافة إلى النباتات المزروعة والحيوانات الداجنة. وعلى سبيل المثال، نجد العديد من الطيور البرية غيرت بيئاتها الطبيعية وأصبحت تعيش فى مناطق حياة الإنسان فى المدن والحدائق هربا من مصير الانقراض بعد إزالة البيئة الطبيعية. هذا إضافة إلى الأنواع التى تتداخل مع بيئة الإنسان وتعتبر آفات للمناطق السكنية أو المدن مثل بعض أنواع القوارض واللافقاريات (النمل - البعوض - الذباب....... إلى آخر القائمة).

### ١- النظام البيئى الزراعى Agroecosystem:

النظام البيئى الزراعى Agroecosystem هو نظام اصطناعى وهو يحتل مكانة متوسطة بين الأنظمة البيئية الطبيعية مثل المراعى والغابات والأنظمة المخلقة مثل المدن (Odum, 1997; Barrett et al. 1999). ويتشابه النظام البيئى الزراعى مع النظام البيئى الطبيعى فى أن كليهما يستمد طاقته الأساسية من الشمس (عملية



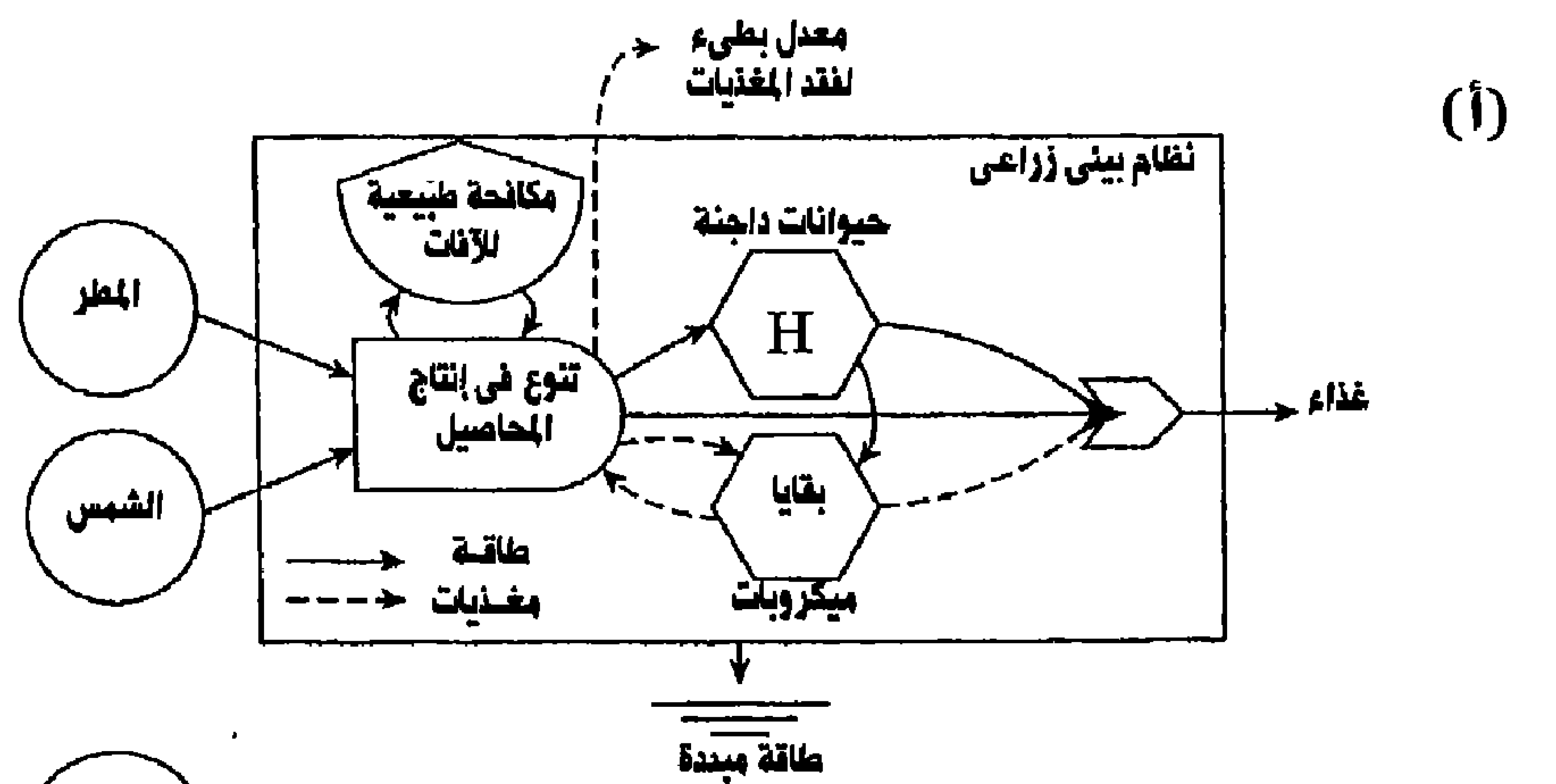


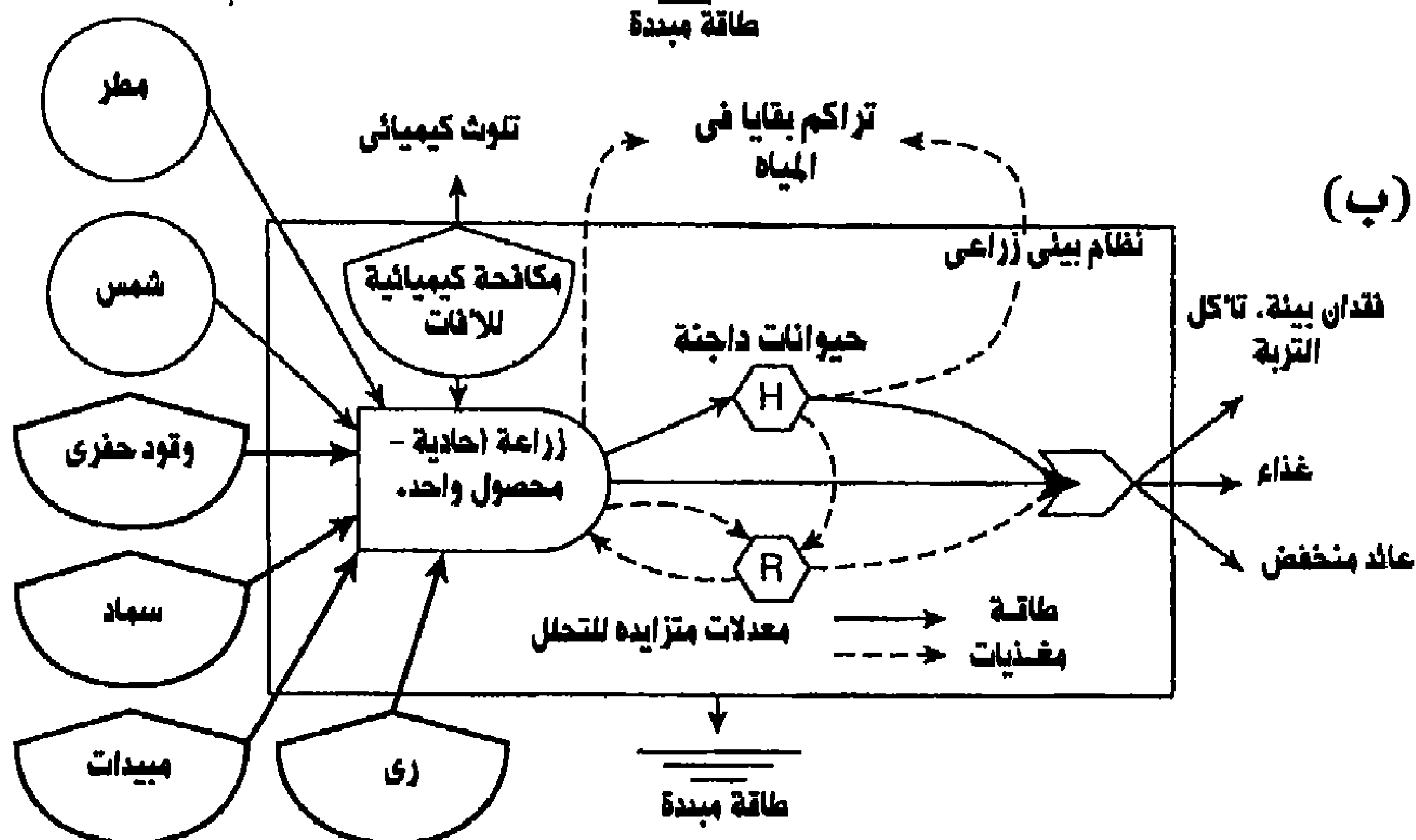
البناء الضوئى فى النبات)، ولكن النظام الطبيعى يمد البشر بالوقود (الفحم - البترول - الغاز الطبيعى - العناصر ذات النشاط الإشعاعى.......)، وأيضاً العناصر اللازمة للبناء والصناعة..... إلى آخره.

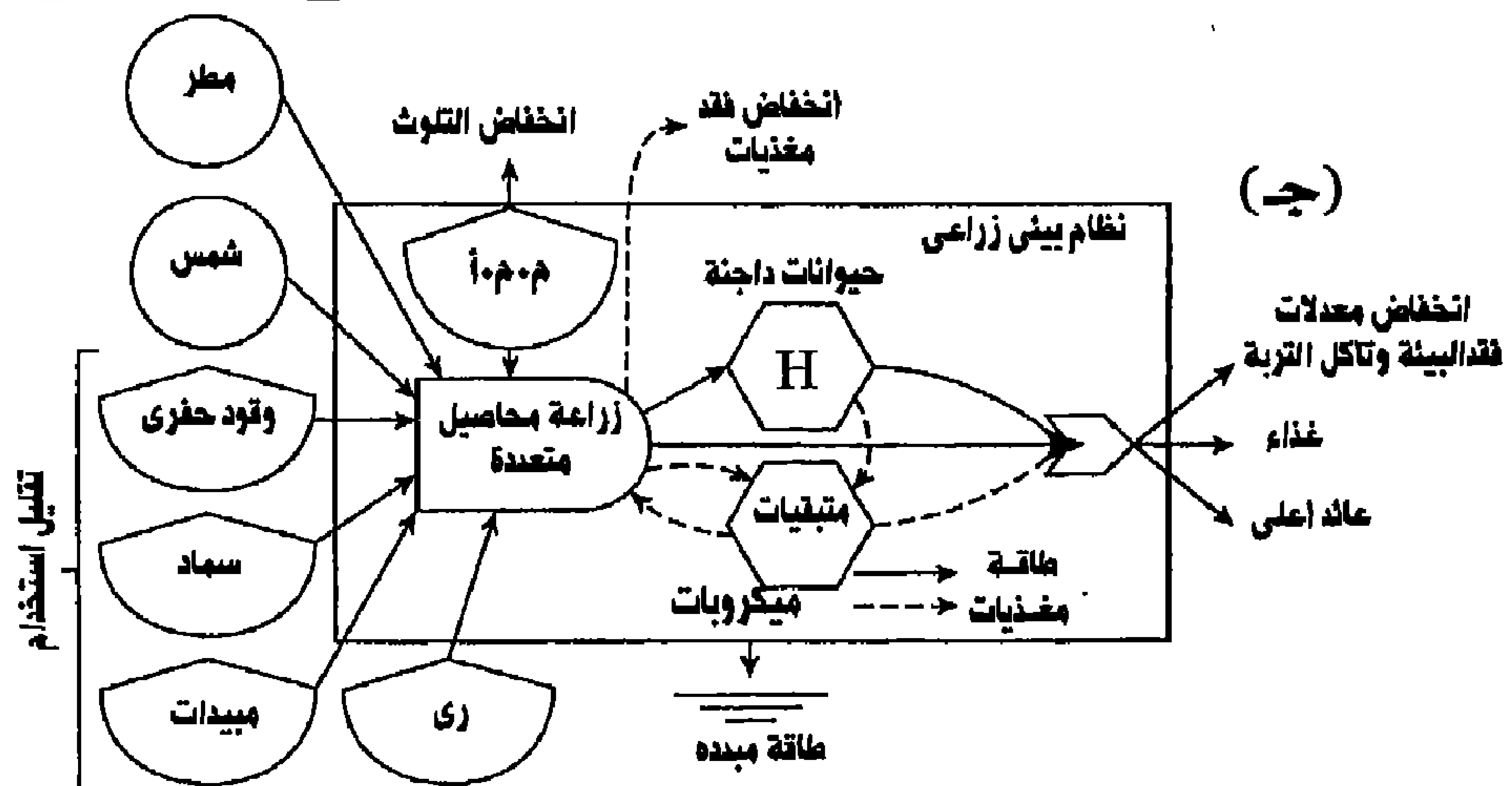
ناقشنا فى هذا الفصل الشبكة الغذائية للإنسان فى المجتمعات أو الأنظمة البيئية المختلفة للإنسان (مجتمع القنص والصيد، مجتمعات ما قبل الصناعة - راجع أشكال١١، ١٢، ١٣، ١٤)، ويوضح شكل (١٨) مراحل نمو الزراعة. ويلاحظ من الشكل أن مجتمع ما قبل الزراعة يعتبر قريبا من النظام البيئى الطبيعى (بدون استخدام وقود حفرى أو أسمدة أو مبيدات) (شكل١٨-أ). ونلاحظ أن المخرج (المنتج) عبارة عن طاقة مفقودة (وهو شىء طبيعى)، مع معدل بطىء لفقد المغذيات.

والمرحلة الثانية (شكل ١٨-ب) فهى مرحلة المجتمع الزراعى الصناعى وهذه المرحلة لا تزال تمر بها العديد من الدول الآخذة فى النمو مثل مصر حيث نجد أن المجتمعات الزراعية أو الأنظمة البيئية الزراعية تستخدم الوقود الحفرى (مثل الغاز الطبيعى أو البوتوجاز) وتستخدم كمًّا كبيرا من المبيدات والأسمدة، ونجد أن المخرجات هنا عبارة عن تلوث كيميائى بالمبيدات وتدهور مستجمعات (كتل) المياه وفقدان البيئة الطبيعية وتدهور التربة وقلة العائد الزراعى (شكل ١٨- ب).

أما المرحلة الثالثة (شكل١٨-ج) فهى مرحلة التنمية الزراعية المستدامة أو الزراعة المستدامة وهى تميز بعض الدول المتقدمة، وهنا نجد أن استخدام طرق المكافحة المتكاملة للآفات والتقنيات الزراعية الحديثة أدى إلى خفض مستويات التلوث وخفض فى مستوى فقد المغذيات (العناصر الغذائية) من التربة كما أدى أيضا إلى انخفاض فى معدلات تآكل التربة وفقدان البيئة الطبيعية وأخيرا زيادة الإنتاجية أو العائد الزراعى.



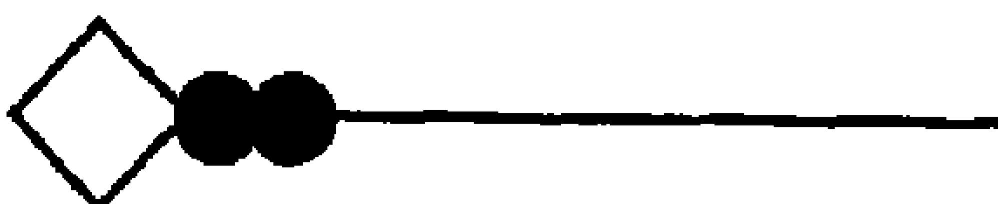

*شكل (١٨): مراحل النظام البيئى الزراعى. أ- مرحلة مجتمع ما قبل الصناعة - ب- المجتمع الزراعى الصناعى - ج- مرحلة الزراعة المستدامة مع استخدام المكافحة المتكاملة للآفات (م.م.أ) عن*(Odum and Barrett, 2004) *(راجع رموز أودام - الفصل الرابع).*

## ٢- الأنظمة التكنولوجية Technoecosystems

### أ- دعم الحياة Life Support:

عند بداية تكوين الكرة الأرضية لم تكن صالحة لدعم الحـياة، فبعد انفصال كواكـب المجموعـة الشمـسيـة كانت درجـة الحرارة شـديدة الارتفاع، ثــم حدث انخفـاض بطيء وتدريجى فى درجة الحرارة وبعـد ذلك تكون الغلاف المائى. . . . بالبرغم من أن عمـر الأرض يتجاوز ستة آلاف مليون سنة، إلا أن الحـياة لم تظهر فى صورتها البـدائية إلا منذ حوالى ألفى مليون عـام تقريباً (والبعض يقـدر الفترة بثلاثة آلاف مليون عام)، وتلك هى أقصى حدود معـرفة العقل البشرى لبدء الحياة على الأرض، فى البداية لم يكن الغلاف الجوى مؤكـسجا (الهواء لا يحتوى على الأكسجـين) واستطاعت بعض الكائنات البدائية أن تحـيا فى هذه الظروف مع بداية تكون الحياه (غلاف جوى غير محتوى على الأكسجين، أشعة فوق بنفسجية قاتلة، غازات شديدة السمـية، وتغيرات حادة فى المناخ). تلك الظروف البيـئية، شديدة القسوة، تسبب الهلاك للكثير من الكائنات الحية المعروفة اليوم.

وبعـد مـرور مــلايين السنين على بـدء ظهـور الحـيـاة بدأت بعض الأنواع البدائـية القادرة على عـملية البنـاء الضوئى فى الظهـور مما أدى إلى تصاعـد غاز الأكسـجين (نتـيجـة عمليـة البناء الضـوئى)، وبالتدريج، وعلى مـر الملايين من السنين، تحول الغلاف الجوى إلى غلاف مؤكسج (مـحتوى على أكسجين) مما مهد لظهور أنواع من الكائنات تستخدم الأكسجين فى التنفس. والآن نستطيع أن نتنفس الأكسجين ونـعيش فى بيئة داعمة للحـياة (غلاف جوى محتوى علـى الأكسجين وغازات أخـرى بنسب صالحـة للحياة، تجـمعـات مياه صـالحة للشـرب، نباتات تستـخدم الطاقة الشمـسية للإنتاج الابـتدائى، دورات للمياه والنتـروجين. . . إلى آخره) وذلك نتيجة لعمليات بيولوجية من ملايين الأنواع السابقة وآلالف العمليات والتفاعلات التى تحفظ ظروف كوكب الأرض بيئـة صالحة للحياة. ولكننا البشر - نحاول أخذ أكثر المكاسب الممكنة من الطبيـعة ونستغل المصادر لأقصى درجة ممكنة

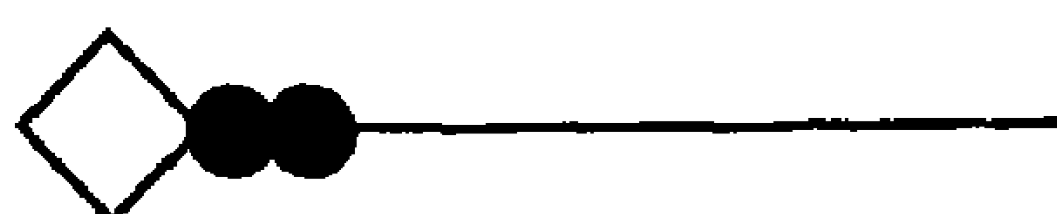




لأننا لم نبذل جهداً ولم ندفع مالا حتى يصبح كوكب الأرض على هذه الصورة الصالحة.

والآن يمكننا أن نقر بأن بيئة دعم الحياة Life-support Environment (المكونات والظروف التى تدعم وجود الكائنات الحية) نشأت خلال شبكة معقدة من العمليات البيولوجية والكيميائية عبر ملايين السنين. ويبقى الآن سؤال بلا جواب واضح: هل يمكن أن ينهار نظام دعم الحياه نتيجة سوء تعامل البشر مع الطبيعة فى كافة صورها؟

لو أنك سافرت بالطائرة من القاهرة إلى نيويورك، على سبيل المثال، ونظرت من النافذة فسوف تمر على البحر المتوسط وعلى كتلة هائلة من الماء وهى المحيط الأطلنطى وسوف ترى أيضا العديد من البحيرات والأنهار وغير ذلك. وتلك الكتل المائية هى جزء هام من نظام دعم الحياة على الكرة الأرضية (فالماء يتبخر من المحيطات والبحار ثم يسقط مطرا ليعود إلى الأنهار فى صورة عذبة تستخدم لنمو وبقاء النبات وكافة صور الحياة، هذا فضلا عن الوظائف البيئية الأخرى للغلاف المائى). وإذا نظرت إلى اليابسة فسوف ترى مسطحات طبيعية Natural Landscapes مكونة من غابات ومراعى طبيعية وهى جزء أساسى من نظام دعم الحياة (فالنبات يمد الغلاف الجوى بالأكسجين الذى تعتمد عليه جميع صور الحياة، فضلا عن أن النبات هو المنتج الابتدائى الرئيسى وعليه تعتمد باقى الأنواع فى الحصول على الغذاء)، إما إذا حلقت الطائرة فوق أماكن يستوطنها البشر فسوف ترى مسطحات متقطعة وعشوائية مكونة من حقول وقرى ومدن وطرق ممتدة لمئات الكيلومترات وما نراه من أعلى يمكن تقسيمه، وكما ذكر (Odum, 1997) إلى ثلاثة أنواع من المسطحات: هى بيئات طبيعية (Natural Sites وبيئات مخلقة (أو مسطحات أو بيئات مستأنسة Domesticated Sites وهى تنقسم إلى بيئات زراعية Cultivateal Sites وبيئات حضرية Developed Sites والأخيرة تشتمل على المدن والمناطق الصناعية وأرصفة النقل مثل الطرق الطويلة وطرق القطارات والمطارات.





إن المدن والمناطق الصناعية والأرصفة (مثل الطرق السريعة وطرق السكك الحديدة والمطارات) تعتبر من وجهة النظر البيئة بيئات مخلقة أو مصنعة (Fabricated or developed environments). وهى بيئات مستخدمة أو معتمدة فى بقائها على الطاقة (Odum, 1997). وحتى اليوم أكثر الوقود المستخدم فى المدن أو الصناعة يعتبر وقودا حفريا (بترول - فحم - غاز طبيعى)، وتلك المنتجات الطبيعية (الوقود) نشأت فى الأنظمة البيئية خلال الأزمنة الجيولوجية السابقة، وبالرغم من أن «الأنظمة البيئية السكنية - الصناعية» تحتل جزءا صغيرا من مسطح الكرة الأرضية بصفة عامة، إلا أنها تستهلك كمًّا هائلا من الطاقة وتنتج مخرجات (نفايات) من الطاقة على شكل طاقة حرارية أو ملوثات، ومن ثم فإن لها تأثيرات بيئية سلبية على البيئة الطبيعية وأيضاً النظام البيئى الزراعى. فعلى سبيل المثال، نجد أن «كثافة الطاقة» أو «مكافئ الطاقة» "Energy Density" (وهى كم الطاقة المستخدم فى وحدة المساحة سنويًّا) فى المناطق (المدن) الصناعية العمرانية يعادل (ألف ضعف) أو أكثر من كم الطاقة المستخدم فى الغابات الطبيعية، مع ملاحظة أن الطاقة المستخدمة فى النظام الطبيعى هى طاقة شمسية نظيفة تستخدم للإنتاج الابتدائى والثانوى (عمليات البناء الضوئى فى النبات وامتداد حركة الطاقة فى السلسلة الغذائية).

والمدينة لا تكتفى بإلقاء نفاياتها ومخلفاتها فى الضواحى (المناطق الزراعية - مناطق التعدين - المناطق الصناعية)، بل أنها تعتمد على الضواحى فى إمدادها بعناصر دعم الحياة (الطاقة - المواد الغذائية - المنتجات) وعموما فقد اعتبر (Odum, 1997) أن المدن الصناعية المأهولة «بقع ساخنة» Hot Spots يتم دعمها بكم كبير من الطاقة.

والبيئة المستأنسة تشتمل على الأراضى الزراعية (شكل١٩-أ) والأماكن الطبيعية المدارة مثل الغابات التى تدار بواسطة الإنسان أو المحميات الطبيعية (شكل١٩- ب).



(أ)



(ب)



شكل (١٩): أ- مسطحات زراعية - ب- مسطحات طبيعية (غابة)

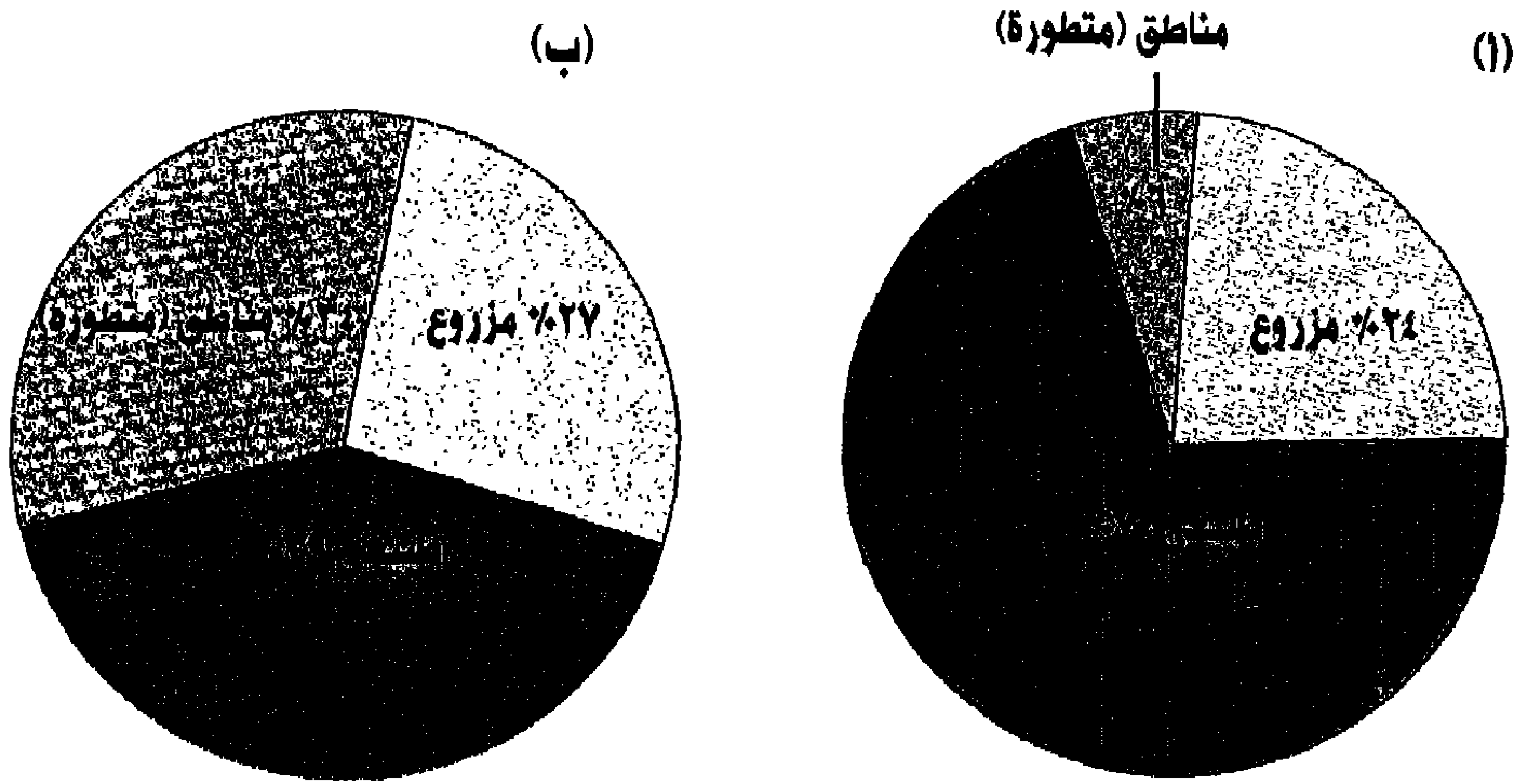
إن الدعم الذاتى "Self Supporting" والبقاء الذاتى هى خصائص تميز البيئة الطبيعـية، فالأنظمة الطبيعـية مثل الغابات أو النظام البيئى الصـحراوى أو الأنظمة البيئيـة المائية تعتمد على نظام الطاقة الشمـسية كمصدر رئيسى للطاقة لبـقاء الحياة واستـمراريـة النظام، بالإضافـة إلى قوى الطبـيعـة الأخرى مـثل الأمطار والرياح وانسيـاب المياه وهى قوة مسـتمدة بطريقة غـير مباشـرة من الطاقة الشمسـية، هذا بالإضافة إلى قوة الجاذبية الأرضيـة التى تلعب دورا فى حركة المياه وثبات أو حركة العناصر الأخرى. والخلاصة أن الـبيئة الطبيعية هى البيـئة التى لا تحتاج إلى تدخل من الإنسـان لإمـدادها بالطاقـة أو المواد بل هى مسـتمـره بشكل تلقـائى (راجع الفصل ).

والبيـئة الطبيـعية لا تشـتمل فقط على المناطق القـفر Wilderness Areas، والتى يقطنهـا قلة قليلة من البشـر، ولكنها تشتـمل أيضا على الغـابات والبرارى والأنهار وغيرها من التكوينات الطبيعية التى تتواجد عليها صور مختلفة من الحياة. وتجدر الإشارة إلى أن هناك بعض الـبيئات الطبيـعية التى تدخل فيهـا الإنسان مثل المراعى الطبيعية أو الـغابات تعتبر حتى اليوم أنظمة طبيـعية طالما أن تدخل الإنسان لم يؤدِّ إلى تغيـرات فى تركيب ووظائف النظام (راجع الفـصل السادس) وطالما أن تلك الأنظمة مـا زالت ذاتية الدعم وذاتية الاستـمرار (Self supporting and Self maintaining systems).

يوضح (شكل ٢٠) اسـتخـدام الأراضى فى الولايات المتحـدة. ويلاحظ من الشكل أن المناطق المتطورة (المدن بأنواعـها المخـتلفة) لا تتـجاوز أكـثر من ٦٪ من المساحة فى الولايات المتحدة، أما الأماكن الطبيعية فتمثل حوالى ٧٠٪ من أراضى الولايات المتحدة والمناطق المزروعة تمثل ٢٤٪ مـن المساحة، ولكن المهم ما نلاحظه من الشكل (٢٠ - ب) والذى يوضح أن كثافة الطاقـة أو مكافئ الطاقة (استخدام الطاقة لوحدة المساحة) فى المناطق المتطورة مثل المدن والمناطق الصناعية يعادل ٣٤٪ من إجمالى كثـافة الطاقة فى جميع الولايات المتحـدة، بالرغم من أن مساحة تلك المناطق لا تتجاوز ٦٪ من المساحة الكلية.



والجدير بالذكر أن مساحة الأراضى المستزرعة فى مصر لا تمثل أكثر من ٣٪ من إجمالى المساحة. واذا أخذنا فى الاعتبار أن عدد سكان مصر يتجاوز ربع عدد سكان الولايات المتحدة والفارق الشاسع بين مساحة مصر ومساحة الولايات المتحدة، فسوف تشعر بمدى خطورة الموقف الناتج عن التعدى على الأراضى الزراعية وعدم جدية المشروعات الزراعية.




***شكل (٢٠): استخدام الأراضى فى الولايات المتحدة حتى عام ١٩٨٠***
***(أ)- وكثافة الطاقة فى أراضى الولايات المتحدة الأمريكية (ب)- عن*** (Odum, 1997).

والآن يمكن تعريف «بيئة دعم الحياة» أو البيئة الداعمة للحياة (Life-support Environment) على أنها أى جزء من الكرة الأرضية، بكل ما يتضمنه من مكونات حية وغير حية، يمد صور الحياة المختلفة باحتياجاتها البيولوجية من الطاقة وعناصر استمرار الحياة بشكل تلقائى (الطاقة الغذائية - طاقة التدفئة - الهواء - الماء...). أما «نظام دعم الحياة» (Life Support system) فهو اصطلاح وظيفى يشير إلى " التفاعل" بين «العمليات» والظروف البيئية أو المحيط البيئى والكائنات الحية والمصادر، ذلك «التفاعل هو الذى يؤدى إلى بقاء الحياة، أما لفظ «عمليات» (Processes) فيعنى «عمليات» إنتاج الغذاء (عملية البناء الضوئى وتغذية الحيوان على النبات والعناصر فى الطبيعة إلى آخر السلاسل

والشبـاك الغذائيـة) ودورات المياه وإدارة المخلفـات وعمليات الـصناعة. . . . .). يتحكم الإنسان ويسـيطر على بعض هذه العمليات ولكن أكثرها عمليات طبيـعية تستمـد طاقتها من الشـمس. والمصادر الطبيعـية الأخرى، وتشتمل عـمليات دعم الحياة على جميع أنشطة الكائنات الحية (الحيوانات - النباتات - الميكروبات. . .).

اعتبر (Odum, 1997) أن:

**النظام الزراعى + النظام الطبيعى = أنظمة دعم الحياة**

فالنظام الزراعى يمد البشر والمدينة باحتياجـاتها من الغذاء والأنظمة الطبيعية (مثل الغابات والبحـار والصحارى وغيرها) هى التى تدعم الحياة البـشرية (فالنبات مثلا هو المسئول عن ثبات نسبة الأكسجـين فى الغلاف الجوى، ومستجمعات المياه هى المسؤولة عن دوره الماء لإمداد البشر وغيرهم بالمياه العذبة. . . إلى اخره).

وبناء على مـا تقدم فـإن التدرج المنـطقى فى الحديث وتتـابع الموضوعـات يضطرنا الآن إلى الحديث عن الأنظمة البيئية غير ذاتية التغذية (Heterotrophic ec-osystems)

**ب- الأنظمة البيئية غير ذاتية التغذية Heterotrophic Ecosystems:**

المسطحات البـيئيـة الطبيعـية وشبـه الطبيعـية (Natural and Semi-natural Landscapes) التى تحتوى على تنوع مـن الأنظمة البيئيـة (مثل الغابات، المراعى، البحـيرات، الجداول. . . . إلخ) تتمـيز بوجود ميل إلى التـوازن بين الأنشطة ذاتية التغـذية(البناء الضوئى) وغير ذاتيـة التغذية (تستـخدم النبات كـغذاء أو مأوى. . . إلخ) ويتخذ هذا التوازن بين الإنتاج والاستهلاك شكلا دوريا.

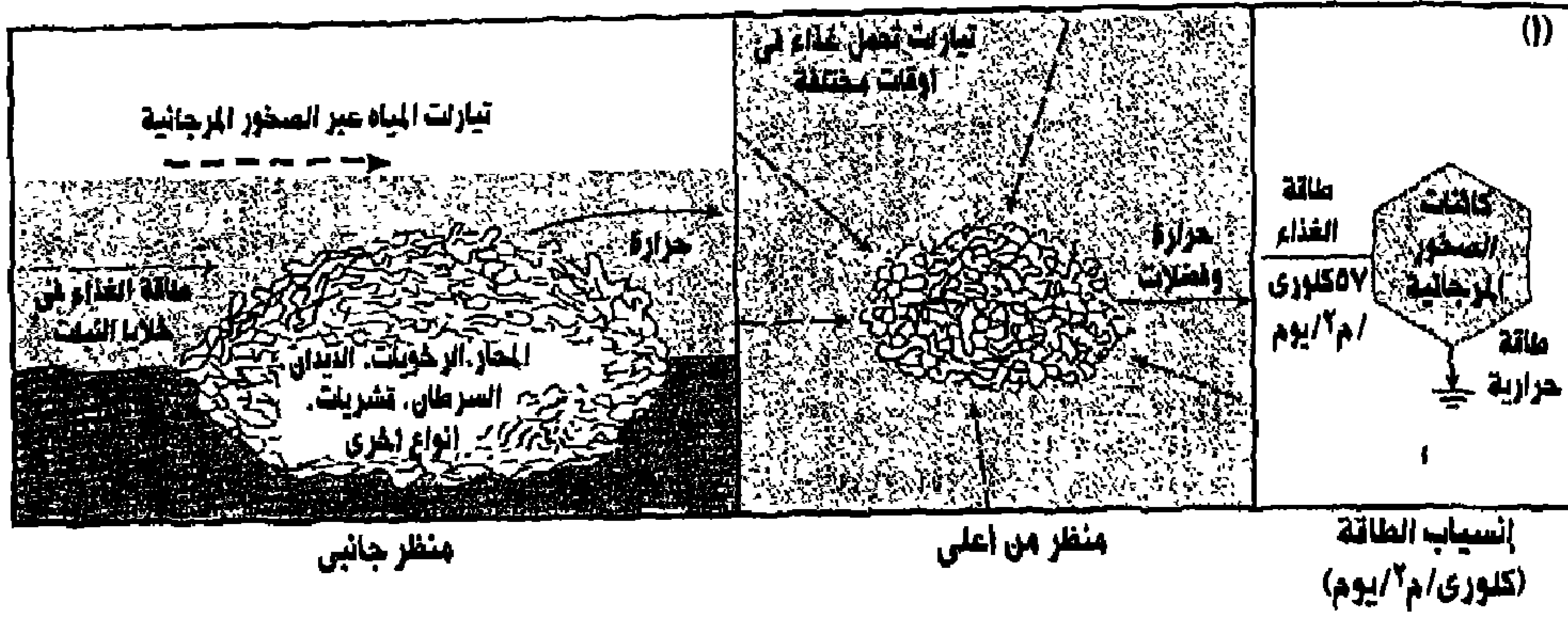
أحيانا يرتفع معدل الإنتاج على معدل الاستهلاك، وفى هذه الحالة يمكن أن تختـزن المادة العضـوية مثل اخـتزان الطاقة فى الفـحم والبتـرول والغاز الطبـيعى والعناصر المشـعة. . . .) أو يتم تصديرها إلى مـسطحات أخرى (كمـا يحدث فى الزراعة أو قطع أشـجار الغابات لاستـخدامهـا فى مكان آخر). على عكس المدن (مسطحات الصناعـة بشكل عام) والتى تستهلك الكثير من الغـذاء والمواد العضوية

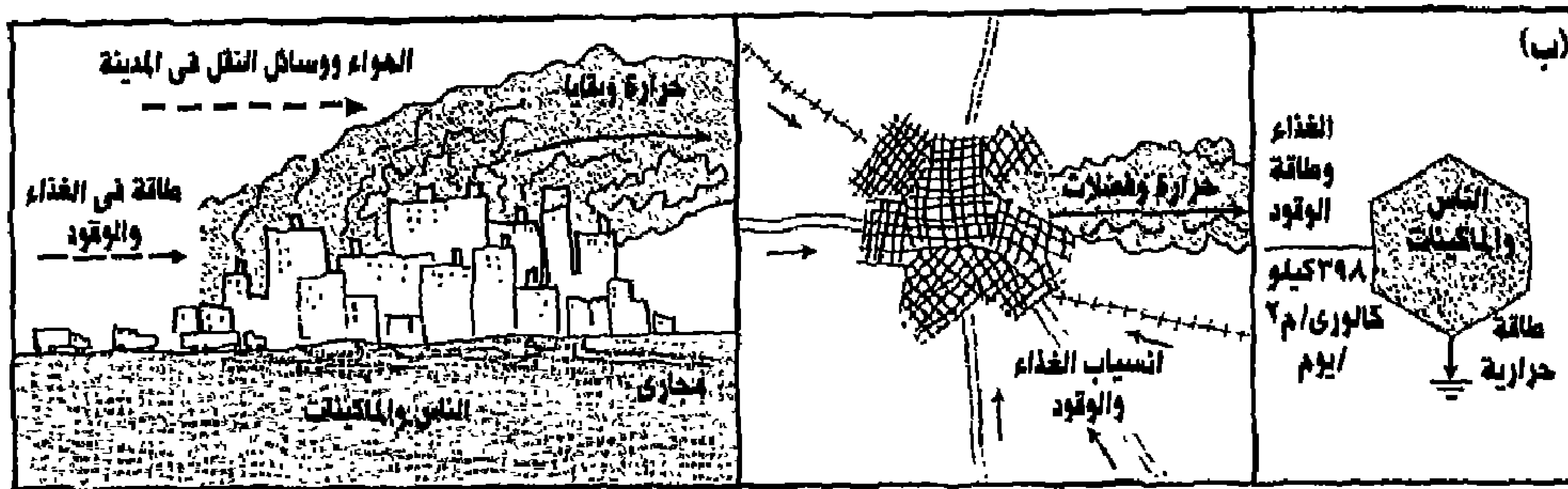


بمعدلات أعلى من إنتاجها، ومن ثم، يمكن اعتبار المدن أو المسطحات الصناعية أو المجتمعات الصناعية أنظمة غير ذاتية التغذية. ويتضح من شكل (٢١) الفرق بين نظام طبيعى غير ذاتى التغذية فى شعاب مرجانية وبين المدينة، ويلاحظ من الشكل أن كلا النظامين يحصل على الغذاء والطاقة من الخارج، ولكن المدينة تستهلك كماً من الطاقة بالنسبة إلى وحدة المساحة (كيلو كالورى / متر مربع / يوميا) يعادل حوالى ٧٠ ضعفا أكثر مما يستهلكه النظام الطبيعى غير ذاتى التغذية. (الاستهلاك في المدينة الطبيعية ٥٧ كالورى/ م٢/ يوم بينما يبلغ ٩٣٨٠ كالورى/ م٢/ يوم فى المدينة الصناعية كما فى شكل -٢٢) ولا يمكن اعتبار ذلك خطأ أو عيب فى المدينة (كون المدينة نظاما غير ذاتى التغذية) طالما أنها ترتبط بشكل سليم بأنظمة ذاتية التغذية لإمدادها بالغذاء والطاقة المطلوبة، وطالما أن المدينة فى نفس الوقت تستطيع إدارة Outputs الطاقة أو المواد بشكل غير ضار بالأنظمة الأخرى، ويذكر (Odum,1997) أن قدرة الأنظمة الطبيعية والمصنعة أو المخلقة (مثل الأنظمة الزراعية) على تلبية طلبات المدينة المتزايدة من المواد والطاقة قد وصل إلى أقصى حد ممكن فى بعض المناطق، وقد حان الوقت للتفكير فى إعادة تصميم مدن تحد من الضغوط على الأنظمة الأخرى، وهناك عدة إجراءات مثل إعادة تدوير المياه والمخلفات الصلبة واستخدام الطاقة الشمسية (النظيفة) مباشرة لإنتاج الطاقة الكهربائية والحرارية وغيرها من الإجراءات التى يجب أن تتم بصورة أشمل مما هى عليه الآن. والفرصة متاحة أمامنا فى دول العالم الأخذ فى النمو وأيضاً فى الدول المتقدمة حيث إن نمط الاقتصاد العالمى (اقتصاد السوق) والتقدم التكنولوجى الموجود حاليا يمكن أن يساعدا على إدارة المخلفات (إعادة تدويرها) بطرق علمية والتقليل من سميتها واستخدام الطاقة الشمسية أو طاقة الرياح فى توليد الكهرباء والتنمية الزراعية المستدامة وإنتاج الوقود الهيدروجينى، واستخدام أبحاث الهندسة الوراثية فى الحد من الآفات والأمراض... إلى غير ذلك من الإمكانات التى أتاحها العلم والتى يمكن استخدامها بطرق أفضل وأكثر صحة للبيئة من الطرق المستخدمة اليوم.








*شكل (٢١): أنظمة غير ذاتية التغذية. أ. «مدينة طبيعية» مكونة من محار وديدان وسرطانات الشعاب المرجانية وغيرها من الأنواع، وهى نظام غير ذاتي التغذية حيث تنساب المواد والطاقة إلى مجتمع الشعاب المرجانية فيتم استغلالها. - ب. «مدينة صناعية» يعتمد بقائها على انسياب الوقود والغذاء ولكنها في نفس الوقت تعطى مخرجات عالية من النفايات والطاقة (لاحظ الفرق بين كم الطاقة المستهلك في المجتمعين)* (Odum, 1971).

إن أى نظام بيئى، بما فى ذلك، الأنظمة الطبيعية أو الأنظمة المحتوية على المدن أو المناطق الصناعية أو الأنظمة الزراعية (المجتمعات العمرانية الصناعية - مجتمعات ما قبل الصناعة - مجتمعات المدن الصناعية. . . . إلى آخره)، أى نظام يعتمد على وظيفتين «غير بيولوجيتين» أساسيتان وهما انسياب الطاقة ودورة المواد (الفصل الرابع)، فالطاقة الشمسية تنساب فى المجتمعات الحية خلال الشباك الغذائية وتخرج الطاقة على شكل حرارة أو مادة عضوية، أما المواد فتتحرك فى دورات (راجع الفصل الخامس).

قسم (Odum and Barett, 2005) الأنظمة البيئية إلى أربعة أنواع رئيسية:

**١- أنظمة بيئية بحرية Marin Ecosystems:**

وتنقسم إلى عدة أقسام ومنها أنظمة البحار المفتوحة (Open occean- pelegic)، والبحيرات المالحة.

**٢- أنظمة المياه العذبة Freshwater Ecosystems:**

ويمكن تقسيمها إلى أنظمة أنهار وجداول وأراضى رطبة وأنظمة مياه جارية ومياه راكدة.

**٣- أنظمة بيئية برية Terrestrail Ecosystems:**

ومن أمثلتها أنظمة التندرا والسافانا والمراعى المعتدلة والأنظمة البيئية الصحراوية وغيرها.

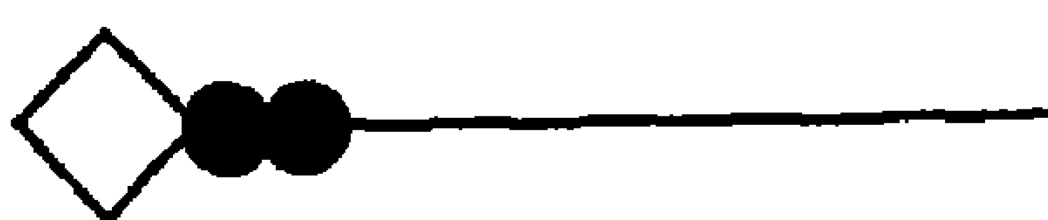
**٤- أنظمة مروضة (مدجّنة-داجنة أو اصطناعية) Domesticated Ecosystems:**

وهى تشتمل على الأنظمة البيئية الزراعية والغابات المزروعة والغابات المتنزعة، والأنظمة القروية التكنولوجية Rural Technoecosystems (تحتوى على أرصفة نقل ومدن صغيرة وصناعات)، وأخيرا الأنظمة الصناعية التكنولوجية العمرانية (العواصم والمدن الصناعية الكبرى.

**جـ- فرض جايا The Gaia Hypothesis**

لقد تمكن العلماء، بفضل التكنولوجيا الحديثة من اكتشاف أن المبيدات الحشرية وبقايا المواد شديدة السمية موجودة فى أجساد الكائنات الحية فى جميع بقاع الكرة الأرضية من البطريق فى قارة أنتراكتا حتى لبن الأم فى الولايات المتحدة.

ولفظ "Gaia" فى اللغة الإغريقية يشير إلى المعبودة الإله «الأرض الأم» "Mother Earth"، وفى عام ١٩٧٩ قدم "Lovelock, 1979" ما يعرف «بفرض جايا» "The Gaia Hypothesis" وينص الفرض على أن الغلاف الحيوى كيان ذاتى التنظيم وله القدرة على الحفاظ على كوكب الأرض فى حالة صحية عن طريق





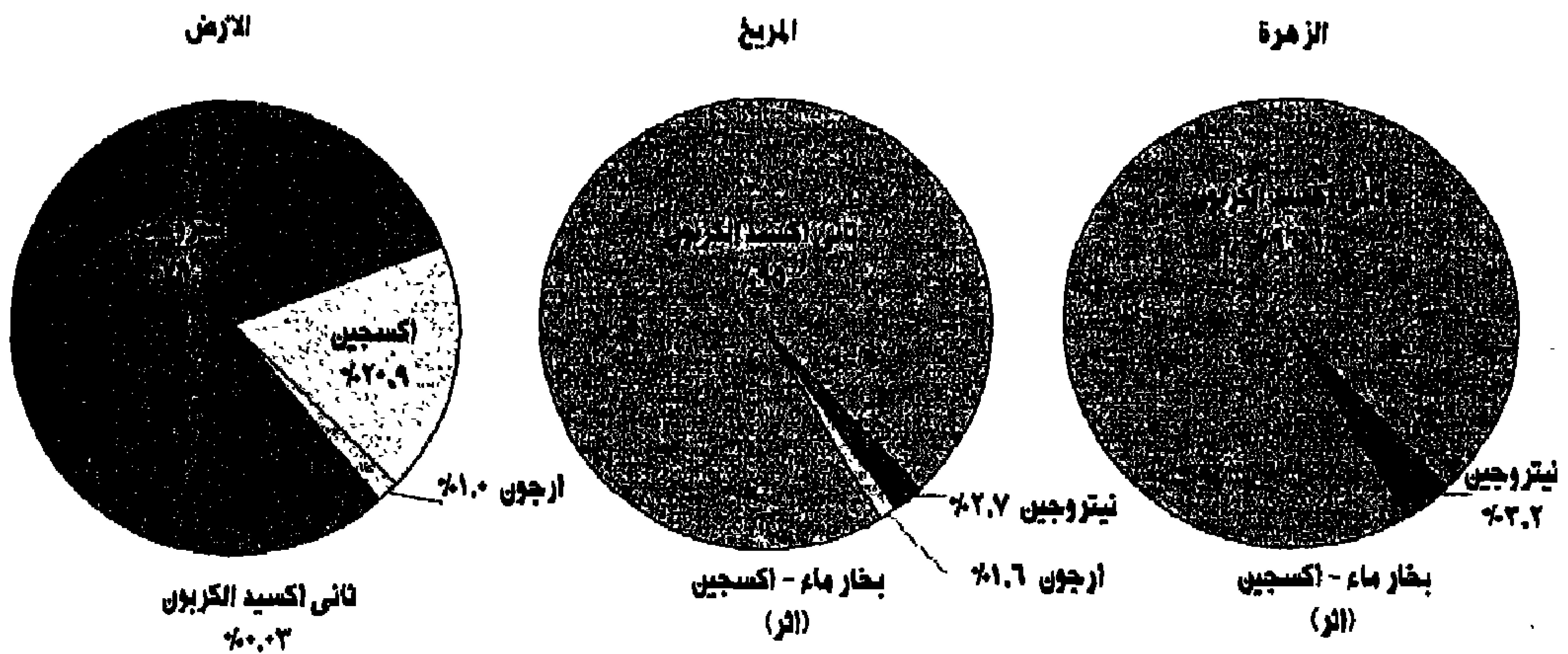
السيطرة على البيئة الفيزيائية والكيميائية»، وفى عبارة أخرى يمكن اعتبار الكرة الأرضية نظاما بيئيا عملاقا يتميز بالعديد من الوظائف المتداخلة والمتفاعلة وآليات تغذية استرجاعية تلطف درجة حرارة الأرض وتحفظ التركيب الكيميائى للغلاف الجوى والبحار فى درجات ثابتة تقريباً - ويلعب مجتمع الكائنات الحية دوراً رئيسيا فى الاتزان البدنى للغلاف الحيوى "Biospheric Homeotasis"، وقد بدأت الكائنات الحية فى السيطرة على اتزان النظام بمجرد ظهورها منذ أكثر من ثلاثة آلاف مليون عام.

أما الفرض، المقابل لفرض جايا، فيقضى بأن العوامل الجيولوجية (غير الحية) هى التى أنتجت الظرف المناسب للحياة، وأن وظيفة الحياة (الكائنات الحية) تقتصر على التكيف للظروف الفيزيائية وتغيراتها.

والسؤال الذى طرحه أودام (Odum, 1997) هل الظروف الفيزيائية هى التى تتغير أولا ثم تتبعها تغيرات فى الحياة (الكائنات الحية) أم أن التغيرات الفيزيائية والبيولوجية تتطوران أو تحدثان بشكل متوازٍ؟

يتفق أكثر العلماء على أن الغلاف الجوى تكون من قلب الأرض شديد السخونة خلال البراكين فى ظاهرة تعرف عند الجيولوجيين بظاهرة خروج الغازات Outgassing. وبينما كانت البراكين مستمرة فى التأثير على المناخ، تكون الغلاف الجوى الثانوى، الذى نعيش فيه الآن عن طريق عمليات بيولوجية (الغلاف الجوى كان مختزلا - غير محتوى على الأكسجين - ومع ظهور الكائنات الحية ذاتية التغذية - النباتات - بدأ يتكون الغلاف الجوى المؤكسد - المحتوى على الأكسجين - نتيجة عملية البناء الضوئى، حتى اتزنت نسب مكونات الغلاف الجوى كما نعرفها اليوم). وبعد ظهور الأكسجين فى الغلاف الجوى بدأت الكائنات الحية هوائية التنفس Aerobes (التى تتنفس الأكسجين) فى الظهور وانحسرت الكائنات اللاهوائية Anaerobes فى مستويات التربة الخالية من الأكسجين Sediments لتواصل حياتها وتلعب دوراً أساسيا فى الأنظمة البيئية. هذا بالإضافة إلى أنه من المحتمل أن تبريد الأرض نتج من خفض تركيز ثانى أكسيد الكربون عن طريق الكائنات البحرية المكونة للحجر البحيرى Limestone Forming Organisms.

وبمقارنة الـغلاف الجوى لكوكب الأرض وكـوكب الزهرة Venus وكوكب المريخ Mars، وكما يتضح من شكل (٢٢) أن كوكب الأرض يتمـيز بتركيز شديد الانخفاض من ثانى أكسيد الكربون وتركيـز مرتفع من النتروجين والأكسجين على عكس الكوكبين القريبين حيث تصل نسبة ثانى أكسيد الكربون إلى ٩٥٪ فى المريخ و٩٦,٦٪ فى الزهرة. ولما كانت عـملية البناء الضوئى، وهى عمليـة حيوية، هى السبب الرئيسى فى تأكسد الغلاف الجوى للأرض، واحتوائه على نسب بسيطة جداً من ثانى أكـسيـد الكربون يرجع إلـى أنشطة الكائنات البـحرية، المكـونة للحجـر الجيـرى، فإن هذا يرجح فرض جايـا فـى أن الكرة الأرضية نـظام بـيـئى عـملاق Superecosystem وأن الغـلاف الحيـوى لديه القـدرة على الحـفاظ على كـوكب الأرض فى حـالة صحـية وأنه (الغـلاف الحيـوى- الكائنات الحيـة) يؤدى وظيفـة أساسية فى تلطيف درجة حرارة الأرض والحـفاظ على نسب ثابتة تقريباً للمكونات الكيميائية فى الغلاف الجوى والغلاف المائى.




*شكل (٢٢): مقـارنة بين المكونات الأساسيـة فى الغلاف الجوى الحـالى فى كوكب الأرض وكوكب المـريخ وكوكب الزهرة. والنسب المئـوية الموضحـة فى الشكل تمثل عدد الجـزيئات وليس الأوزان النسبـية للمكونات. العناصـر غير الممـثلة فى الشكل توجد بكميات ضئيلة جدا (عنMargulies and Olendzenski 1992).*

### د- النظام البيئى التكنولوجى Technoecosystem

لقد أدى وجود المدن والمجتمعات الصناعية الحديثة إلى تأثيرات واضحة على أنظمة دعم الحياة الطبيعية وأدى إلى إيجاد ما يعرف «بالنظام البيئى التكنولوجى». واعتبر (Odum, 1997) أن الأنظمة التكنولوجية «طفيليات» على الأنظمة الطبيعية، وذلك من وجهة نظر بيئية محضة، فالأنظمة البيئية التكنولوجية تشتمل على استخدامات تقنيات متطورة وكم هائل من مصادر الطاقة.

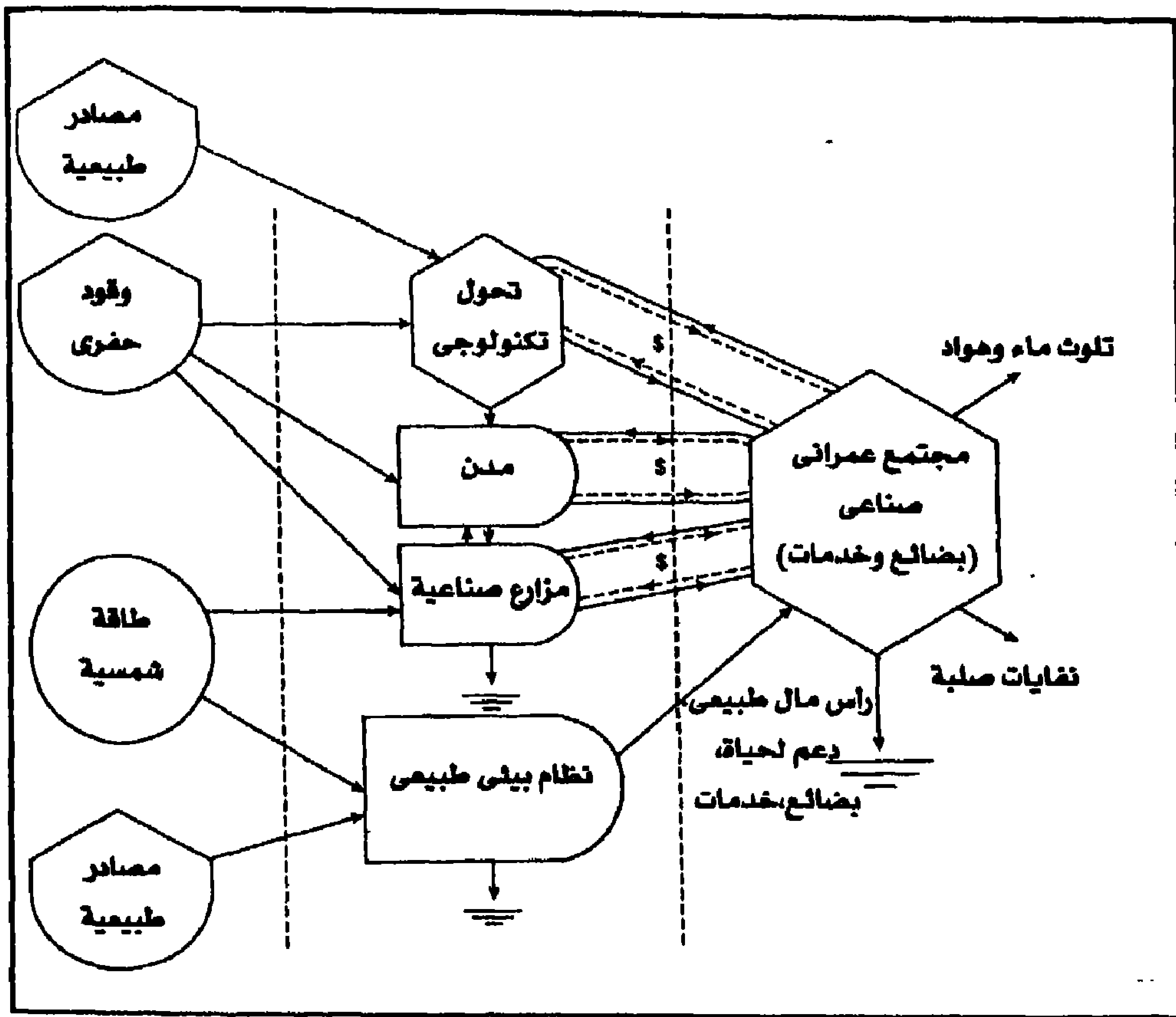
وكما لاحظنا في الجزء الأول من هذا الفصل أن إنسان ما قبل الثورة الصناعية كان جزءا من النظام البيئى ولم يكن معزولا أو مميزاً عن النظام البيئى الطبيعى. والمجتمعات الزراعية - مجتمعات ما قبل الصناعة -، والتى لا تزال متواجدة فى بعض أجزاء العالم، ما زالت متوائمة مع أنظمة البيئة الطبيعية إلى حد بعيد، بل إنها أحيانا تثرى المسطحات الطبيعية، هذا بالإضافة إلى دورها الأساسى فى الإمداد بالغذاء.

ومع تزايد استخدام الوقود الحفرى (البترول - الفحم - الغاز الطبيعى) والوقود النووى كمصادر للطاقة ومع نمو المدن والتحولات فى تاريخ الاقتصاد البشرى تغيرت الصورة تماماً، ومن ثم، أدخل Naveh عام ٢٠٠٠ مصطلح «النظام البيئى البشرى» "Total Human Ecosystem" (Naveh, 2000).

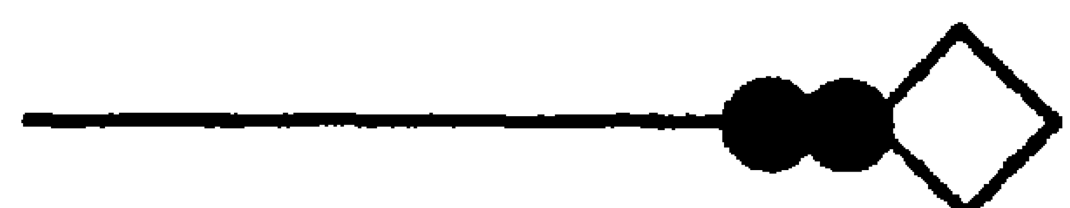
ويوضح (شكل٢٣) (عنOdum and Barrett, 2005) نموذجا لهذا النظام الجديد حيث يظهر المدخلات من طاقة (الوقود الحفرى واليورانيوم والمصادر الطبيعية الأخرى) إلى المدن فى النظام البيئى البشرى ومخرجات هذا النظام (مجتمعات صناعية عمرانية وبضائع وخدمات) وأخيرا مخرجات من ملوثات الماء والهواء ومخلفات صلبة وطاقة (مع فحص الشكل راجع رموز أودام الفصل الرابع).

إن المدن الحديثة تعتبر مكونا أساسيا من النظام البيئى التكنولوجى، وهى أيضا نقاط طاقة ساخنة Hot spots فى النظام. وهى تحتاج لكمٍّ هائل من الطاقة والمنتجات الزراعية لتلبية احتياجاتها. المدن الحديثة لا تنتج غذاء، ولكنها تضخ

كميات كبـيرة من النفايات التى تؤثر على المسطحات القروية والمسطحات الطبـيعية وكتل أو متـجمعات المياه. إن المدن تضخ الأمـوال لشراء بعض المصادر الطبيـعية، ولكن المدينة تحتوى أيضا على العديد من الأشياء غير المتاحة للمجتمع القروى مثل دور الأوبرا والمتاحف الضخـمة وغيرها (راجع أيضا شكل٢١ للـمقارنة بين المدينة والنظام البيئى الطبيعى) وإذا استمـر الوضع كما هو عليه وظلت المدينة "كالطفيل" فسوف يؤدى هذا حتما إلى تدهور شديد، فـالطفيل الذى يستهلك عائله حتى آخر قطرة سـوف يقضى على عـائله وسوف يهـلك هو أيضا فى النهـاية (العبـارة عن Odum of Barette, 2005 بتصرف).




*شكل (٢٣): نموذج لبيان العلاقة بين النظام البيئى التكنولوجى والنظام البيئى الطبيعى متضمنا حركة الأموال، ويوضح الشكل أن النظام التكنولوجى يحتاج إلى البضائع والمواد الأولية من الأنظمة الطبيعية حتى تستمر بيئة الإنسان (عن* Odum and Barrett, 2005).

### هـ- النظام البيئى الصناعى العمرانى التكنولوجى:

**Urban Industrial Technoecosystem**

يمكن اعتبار المدن والمناطق السكنية ومناطق النمو الصناعى أنظمة بيئية تكنولوجية. إنها بالفعل مناطق صغيرة بالنسبة لمساحة الكرة الأرضية، ولكنها جزء لاستهلاك وإنتاج الطاقة فى مسطحات الأنظمة الطبيعية والزراعية. ومن وجهة نظر «مصادر دعم الحياة»، وكما ذكرنا سابقاً، يمكن اعتبار المناطق الصناعية «طفيليات» على المحيط الحيوى أو فى عبارة أخرى - تلك المدن طفيليات على مصادر دعم الحياة.

من سوء الحظ أن العديد من المدن اليوم غير منظمة وعشوائية ويهاجر إليها الناس للبحث عن حياة اقتصادية وخدمات أفضل. ويتسع نمو المدن بمعدلات عالية فى الدول النامية، فنجد أن تعداد السكان وصل إلى ٢٥ مليون فرد فى مدينة ساوباولو ومثل التعداد فى مدينة ميكسيكوسيتى عام ٢٠٠٠ (Odum and Barett, 2005). أما القاهرة، فبلغ عدد سكانها نحو ١١ مليون عام ١٩٩٦ (جهاز شئون البيئة - ١٩٩٧)، منهم نحو ٣,٧ مليون يعيشون فى تجمعات عشوائية وأحياء مهملة. ومن المدن الصناعية شديدة الازدحام طوكيو ونيويورك. ويرى بعض العلماء أنه بحلول عام ٢٠١٠ سوف يعيش ما بين ٥٠٪ إلى ٨٠٪ من سكان العالم فى المدن (طبقا إلى تقرير الأمم المتحدة عن نمو المدن العملاقة والمستقبل - الصادر على ١٩٩٤). إن النمو السريع وغير المخطط للمدن سوف يؤدى إلى المزيد من تردى الوضع البيئى، ومن ثم فيجب إشراك المواطنين في التخطيط لمدن المستقبل. إن النظرة الغالبة إلى المدن تنظر إليها فقط من وجهة نظر البنية التحتية ومعدلات البطالة والجريمة والفقر والشكل المعمارى للمدن... وما إلى ذلك، ولكن مدن المستقبل يجب أن تنشأ على أسس متضمنة، بل ومحتضنة لما يقره ويفرضه علم بيئة المسطحات، وليست مجرد إنشاءات وبنية تحتية فقط (شكل ٢٥).





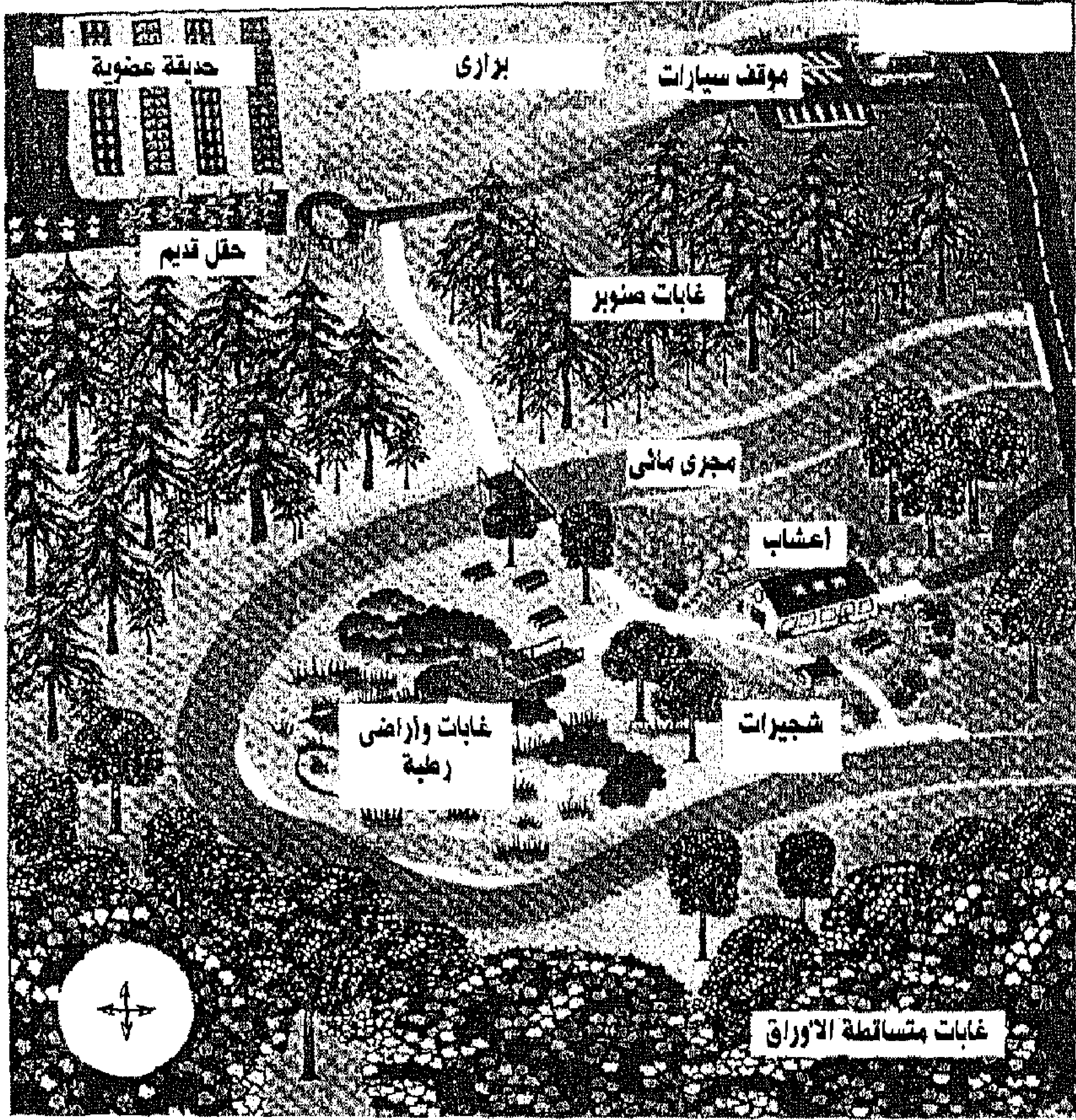
ويوضح شكل (٢٤-أ) بيئة طبيعية فى جزيرة يحيطها مجرى مائى(Stream) محاط، بأنواع مختلفة من البيئات ومن ثم فهى أماكن ترفيه، واستجمام وثقافة. والشكل (٢٤-ب) عبارة عن صورة فوتوغرافية لمنطقة نمو عمرانى (منطقة متطورة) فى منطقة أتلانتا - جورجيا - الولايات المتحدة.

الشكل (٢٥)، وهو نموذج، يوضح أن أكثر من ٥٠٪ من المسطح يعتبر مناطق سكون وحفظ أنواع "Permanent Conservation Easment" وهو يعطى بيئة للحياة البرية، ويوضح هذا النموذج كيفية تكامل الجوانب الاقتصادية مع رأس المال الطبيعى (الثروة الطبيعية) فى منطقة عمرانية. إن التوسع العمرانى وتجديد المدن سوف يعتمد فى المستقبل أكثر وأكثر على إعادة ربط المدينة بمناطق وبيئات الحياة الطبيعية حيث إن الطفيل (ويقصد هنا المدينة) يمكن أن يستمر وينمو وينتعش طالما أن عائله (البيئة الطبيعية) مستمر فى حالة جيدة (Odum and Barett,2005).

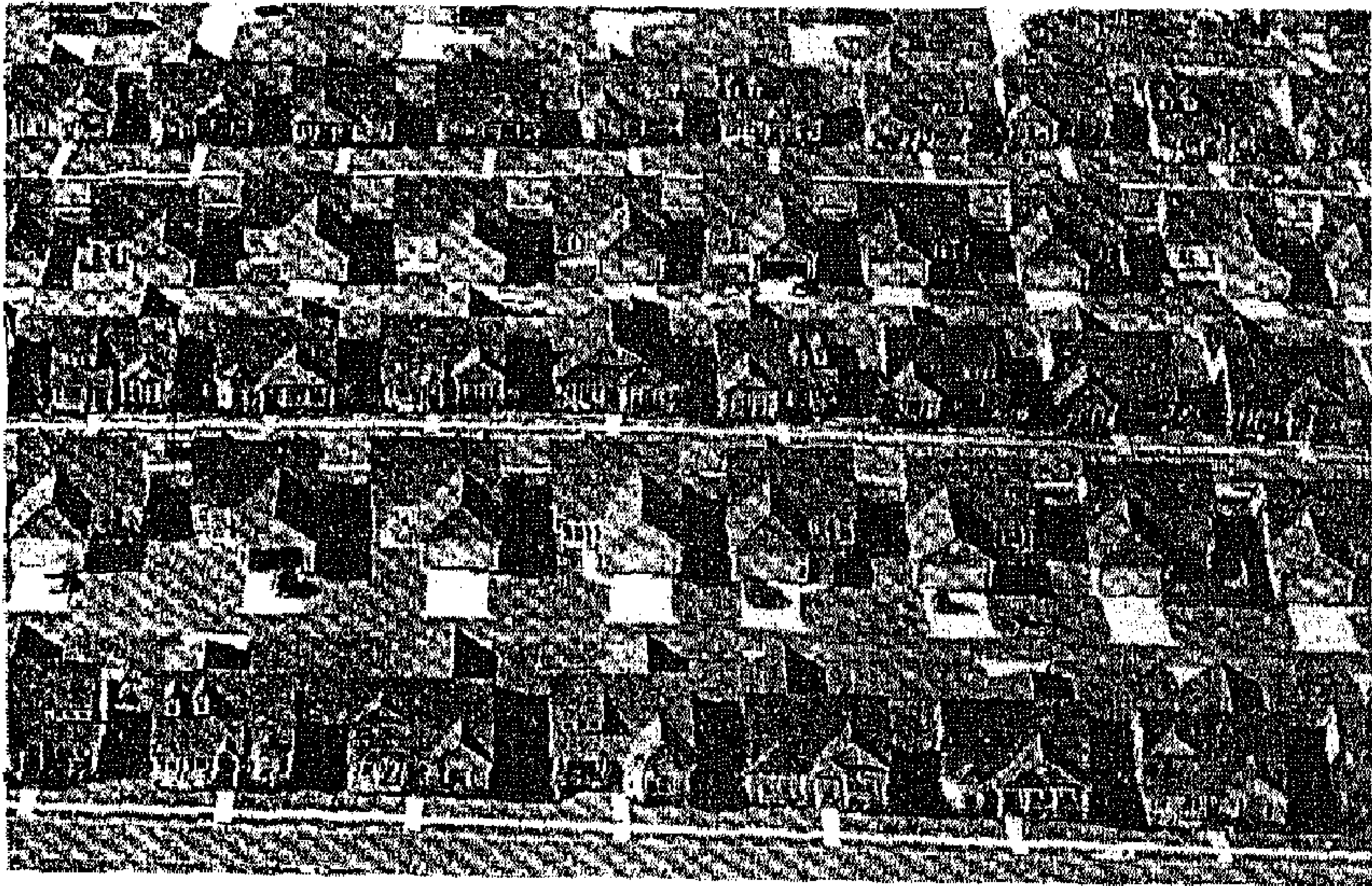




(أ)




(ب)



شكل (٢٤): أ- منطقة سكنية فى جزيرة لمجرى مائى والشكل يوضح تنوع النظام البيئى من حيث المسطحات والبيئات الطبيعية. ب- صورة فوتوغرافية لمدينة سكنية

شكل (٢٥): نخطيط لمدينة ويلاحظ من الشكل أن أكثر من ٥٠٪ من المساحة مناطق محمية، والجزء المتبقى تجمعات سكنية تصلح لتشييد المنازل.

- مراجع مختارة


**Barrett, G.W., and J.D. Peles, Eds, 1999.** Landscape ecology os small mammals. New York Sptinger Verlag.

**Barret, G.W., and R. Rosenberg, Eds. 1981.** Stress effects on natural ecosystems. New York: John Wiley.

**Barret, G.W., and L.E. Skelton, 2002.** Agrolandscape ecology in the twenty-first century. In Landscape ecology in agroecosystems management, L. Ryszkowski, Ed. Boca Raton, Fla.: CRC Press, pp.331-339.

**Barrett, G.W.,T.L. Barrett, and J.D. Peles. 1999.** Managing agroecosystems as agrolandscapes: Reconnecting agricultural and urban landscapes. In Biodiversity in agroecosytems, W.W. Collins and C.O.Qualset, Eds. Boca Raton, Fla.: CRC Press, pp. 197-213.

**Barrett, G.W., J.D. Peles, and S.J. Harper. 1995.** Reflections on the use of experimental land-scapes in mammalian ecology. In landscape approaches in mammalian ecology and conservation, W.Z. Lidicker, Jr., Ed. Minneapolis: University of Minnesota Press, pp. 157-174.

**Calow, P.(ed.) 1999.** Blackwell's concise encyclopedia of Ecology Oxford Blackwell.

**Clapham, Jr. W.B. 1981.** Human ecosystems Macmillan, USA.






**Hasen, A.J. and F. di Castri 1992.** Landscape boundaries: Consequences for biological diversity and ecological flow. Springer verlag, New York, USA.

**Harper, S.J., E.K. Bollinger and G.W. Barett 1993.** Effects of habitat patch shape on meadow Vole, Microtus Pennsylvanicus Population dynamics Journal of mamalogy 74: 1045-1055.

**Harris, L. D. 1984.** The fragmented forest Island biogeography theory and preservation of biotic diversity. Chicago Univ. Press.

**Forman, R.T.T. 1997.** Land mosaics: The ecology of landscapes and regions. Cambridg, U.K.: Cambridge University Press.

**Klopatek, J.M. and R.H. Gardner (eds.) 1999.** Landscape ecological analysis: Issues and Applications. Springer Verlag, New York, USA.

**Lovelock, J.E. 1979.** Gaia. A new Look at life on earth Oxford Unive Press.

**Margulis, L. and L.O. Olendzenki (eds.). 1992.** Environmental Evolution: Effects of the origin and evolution of life on planet earth. M.I.T. Press, Cambridge, M.A.

**Marten, G.G. 2001.** Human Ecology: Basic concepts for sustainable development. Earthcan publications, USA; UK.

**Nsveh, Z. 1982.** Landscape ecology as an amerging branch of human ecosystem science. In Ad-vances in ecological research.





Volume 12. New York: Academic Press, pp. 189-209.

**Naveh, Z. 2000.** The total human ecosystem: Integrating ecology and economics. BioScience 50:357:361.

**Naveh, Z., and A. S. Lieberman. 1984.** Landscape ecology: Theory and application. New York: Springer Verlag.

**Odum, E.P. 1997.** Ecology: A bridge between science and society. Sunderlan, Mass.: Sinauer.

**Odum, E.P. 1998a.** Ecological vignettes: Ecological approaches to dealing with human predicaments. Amsterdam: Harwood.

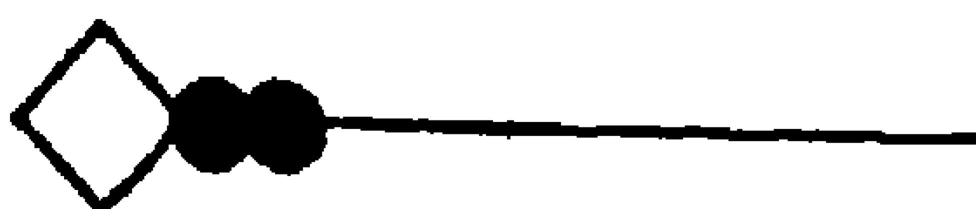
**Odum, E.P. 1998b.** Productivity and biodiversity: A two-way relationship. Bulletin of the Ecological Society of America 79:125.

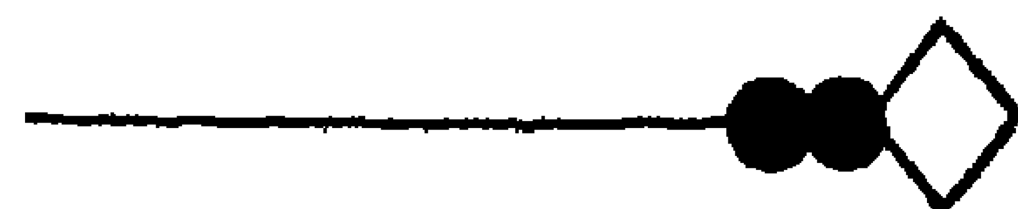
**Odum, E.P. 1998c.** Source reduction, input management, and dual capitalism. In Ecological vignettes: Ecological approaches to dealing with human predicaments, E.P. Odum. Amsterdam: Harwood, pp. 235-236.

**Odum, E.P. 2001.** The technoecosystem. Bulletin of the Ecological Society of America 82: 137-138.

**Odum, E.P., and G.W. Barrett. 2000.** Pest management: An overview. In Progessional societies and ecologically based pest management. National Reserch Council Report. Washington, D.C.: National Academy Press, pp. 1-5.

**Odum, E.P., and G.W. Barret. 2004.** Redesiging industrial agroecosystems: Incorporing more ecological processes and re-





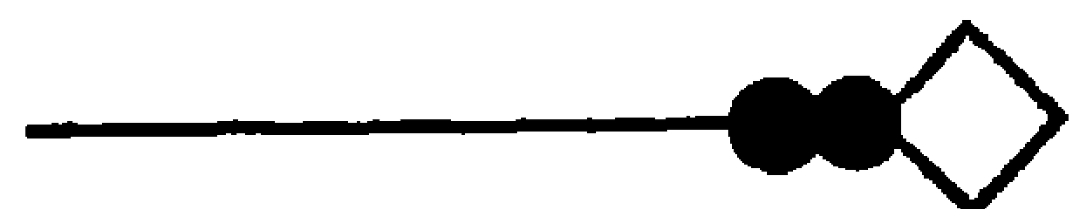
ducing pollution. Journal of Crop Improvements.

**Odum, E.P., and G.W. Barrett, 2005.** Fundamentals of Ecology (5th ed.) Brooks/Cole, USA.

**Odum, H.T. 1971.** Environment, Power and Society Wiley inter Science, New York.







# فهرس مصطلحات
# Index

## (أ)


أفيال ٣٢

اكسجين ٢٨٢، ٣٣٣، ٣٤٤

إنتاج ٩٨

—— ابتدائى ٩٧، ١٠٨

—— ثانوى ١٠٩

انقراض ٣٢ ، ٣٥

—— الثدييات ٣٥

—— الأفيال ٣٢

أنظمة بيئية (راجع أيضا نظام بيئى، خصائص)

—— بشرية ٣٠٠-٣٥٠

تعقيد الـ —— ٦٦

علم الـ —— ١١، ١٢، ٣٥، ٦٥

انتروبى ٢٠٨، ٢٠٩، ٢١٠، ٢١٣، ٢٢١، ٢٢٤

انفيرون ٧٨

أهرام بيئية ١٠٣-١٠٥

آهلات ٢٦، ٥٥، ٧٨-٨٠، ١٢٠، ٢١٦

—— بشرية ٢٤٧-٢٥١

أوزون ١٦٤، ١٦٧

## (ب)

بحر ٢٨٦

بحيرة ٢٨٦

بقع سوداء ٢٨٤

بناء ضوئى ٩٦

فاعلية الـ ــــــ ١١٣

بناء كيميائى ٩٦

بيئة (راجع أيضًا فرض عدم التأثير، علم البيئة) ٢٥

تجارب الـ ــــــ ٣٢

تدمير الـ ــــــ ٣٦

علـم الـ ــــــ ٢٥

ــــــ الإنسان ٣٠١

## (ت)

تتابع بيئى ١٢

تحت نظام (راجع أيضاً تسلسل) ٥٢

تجارب ٣٢

أنواع الـ ــــــ فى علم البيئة ٣٢-٣٤

تركيب ٤٥

تسلسل فى النظام (راجع أيضًا طبقية) ١٢، ٤٨-٥٠

الحدود والـ ــــــ ٤٧

المعلومات ونظرية الـ ــــــ ٥٠

ــــــ فراغى (راجع أيضًا زمن - زمانى) ٥٣، ٥٤






| | |
|---|---|
| نظرية الـــــــ | ٥٢ |
| ـــــــ هرمى (راجع أيضا طبقيه) | ٤٨-٥١ |
| تغذية استرجاعية | ٣٠٦-٣١٢ |
| تطور | ٧٠،٢٢١ |
| تلوث | ٢٥٢-٢٥٥،٢٧٩-٢٨٦ |
| ـــــــ ميكروبى | ٢٨٤ |
| تنافس | ٧٨-٨٢،١٨٤ |
| تنمية مستدامة | ١٤،٢٩،١٩٩ |

(ث)

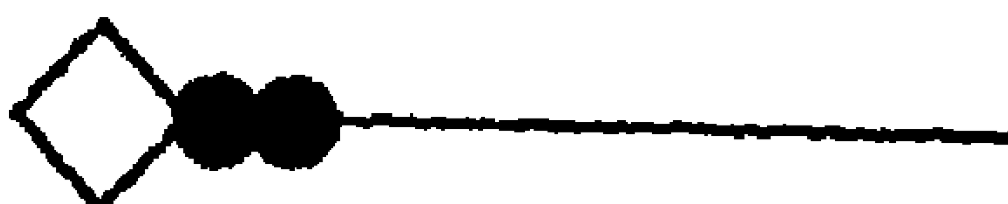
| | |
|---|---|
| ثانوى (راجع أيضًا إنتاج) | ١٠٩ |
| ثانى اكسيد الكربون (راجع أيضا دورة الكربون) | ١٦١، ٣٤٤ |
| ثدييات | ٣٥،٥٠ |
| ثروة إحيائية | ٢٧١ |

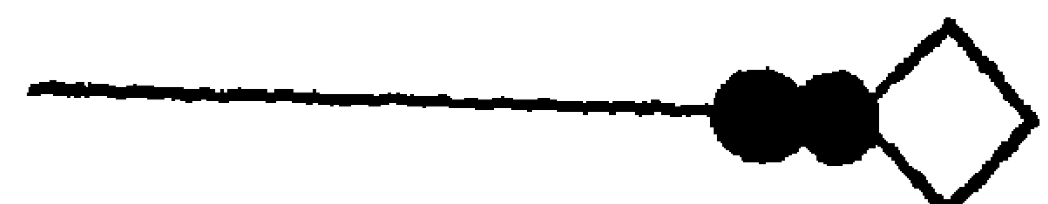
(ج)

| | |
|---|---|
| جزيئات | ٢٥٤،٢٨٣ |
| جفاف | ٢٨٦ |
| چين | ٢١٧،٢٢٠ |
| چينوم | ٢٢٥ |

(ح)

| | |
|---|---|
| حدود | ١٣،٤٦،٤٧ |
| حشرات | ١١٤،١١٩-١٢٢،٢١٥،٢٧٣ |
| حفظ المادة (راجع أيضًا طاقة، ديناميكا حرارية) | ١٣٠ |



(خ)


خصائص الأنظمة البيئية ٦٦-٦٨

خصوبة ٢٥٠

خلية ٤٩، ٥٣.


(د)


درجة حرارة ٥٠،١٦١ -١٦٥، ٣٠٩

دعم الحياة ٣٣٣

دورات المواد ٦٧،١٤٩-١٦١

دورة الفوسفور ١٥٤

دورة الماء (راجع أيضًا ماء،نهر) ١٥٥-١٥٩،٢٨٠

دورة الكربون ١٦٠

دورة النيتروجين ١٤٩-١٥٣

ديناميكا حرارية ١٤،١٢٩،٢١٣

ديناميكية المياه ٥٤

دينا ميكية إنسياب الطاقة ١٢٤


(ذ)


ذاتية التغذية ٩٦،٩٧،١١٦، ١١٧


(ر)


رخويات ٢٧٣

ريبه (شلك) ٧٠،٧٣،٢١١






(ز)


زمن (زمانى) ٥٤-٥٦

تسلسل ـــــ ٥٤

ـــــ الجيل ٥٥،٥٦

زيادة طبيعية ٥٦،٥٧


(س)


سد (السد العالى) ٢٨٦-٢٨٨

سريان الطاقة (راجع أيضًا طاقة) ٩٥

سعى ٧٨

سكان ٢٤٧-٢٥٣، ٣١١

سلاسل غذائية ٩٩-١٠١

سيناريو ٨١،٨٢


(ش)


شباك غذائية ١٠١،١٨٧

شك (ريبه) ٧٠

ـــــ فى نظرية النظام البيئى ١١،٣٨

مبدأ الـــــ فى نظرية النظام البيئى ٧٣


(ص)

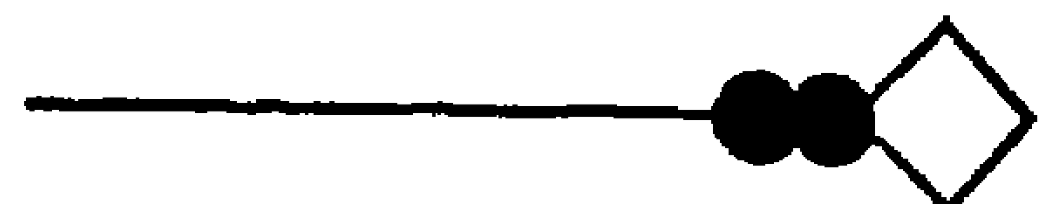

صافى الإنتاج (راجع أيضًا إنتاج، ثانوى) ١٣٢

صبغى ٢١٩

صحة النماذج البيئية (راجع أيضًا شك، نماذج) ٧١

صحة النظام البيئى ٢٥٢،٢٥٦



صقور ٩٩

صناعة ١٥٦،٢٧٩،٣١٩-٣٢٣

صوبة نباتية (راجع أيضًا درجة حرارة ، مناخ) ١٦١

(ض)

ضوضاء ٢١١

(ط)

طاقة (راجع أيضًا ديناميكا حرارية، انتروبي) ١٢،٩٤-١٤١

——— النظام البيئى ٤٨

انسياب الـ ——— ٩٥،١٠٦

أهـرام الـ ——— ١٠٥،١٠٦

رمـوز الـ ——— ١٣٨

طرق علمية ٢٩،٣٠،٣٨

طفرات ٢١٧

طفيليات ٩٩،٣٤٥

طيور ٥٠، ١٠٣، ١٥٣

(ع)

عائل ٧٨-٨٢

علم البيئة ٢٥

التسلسل الهرمى فى ——— ٥٢

تعريف ——— ٢٩

——— والمجتمع ٢٦-٢٩

علم الأنظمة البيئية ٣٥

نشأة ——— ٣٥






علم الحياة ٤٥

عواشب ٩٧،٩٩، ٣١٥


(غ)


غذاء ١٢٠

غير عضوية ٩٨

غلاف جوى (راجع أيضًا درجة حراره) ٣٥،٩٨،١٢٥،١٦١،١٦٤،٣٤٣


(ف)


فرض ٣٠

—— جايا ٣٤٢

—— عدم التأثير ٣١

فقد فى الطاقة (راجع أيضا ديناميكا، طاقة، انتروبى) ١١٠-١١٢

فوسفور ١٥٤


(ق)


قشريات ٢٧٢

قوارات (راجع أيضًا سلاسل، شباك، كانسات) ٩٩،٣١٥

قواقع ٩٩


(ك)


كانسات (راجع أيضا سلاسل، شباك قوارت) ٩٧

كتلة حيوية ٢٦،٥٤

كربون (راجع أيضًا دوره) ١٦٠،١٨٧

كلوروفلوروكربونات ١٦٨

كيانات علم البيئية ٤٦،٤٧






(ل)

لواحم (آكلات لحوم) (راجع أيضًا شباك، سلاسل) ٩٩

لافقاريات ١١٨

الحفاظ على الـ ــــــ ١٢٣

(م)

ماء (راجع أيضًا نهر ، دوره) ٢٧٧

تجمعات الـــــــ ١٥٥

دورة الـــ ـــــــ ١٥٥

صـــور الـــــــ ١٥٦

مصـادر الـ ـــــــ ١٥٨

مجتمعات ٣١٣-٣٢٢

ــــــ القنص ٣١٤

ــــــ زراعية ٣١٦

ــــــ صناعية ٣٢٢

ــــــ عمرانية ٣٣٠

محللات (راجع أيضًا كانسات، شباك، سلسل) ٩٧

محيط حيوى ٢٦،٥٣

مدينة (مدن) راجع أيضًا مجتمع، مجتمعات) ٣٠٢،٣١٧-٣٢٢،٣٤١،٣٥٠

مسطحات ٣٣٠

مصادر ٣٠٤،٣٠٥

معلومات ٢٠٧

مفهوم الـ ـــــــ ٢٠٨





| | |
|---|---|
| معلوماتية | ٢٠٧-٢٣٢ |
| مفترس (راجع أيضًا تنافس) | ١٢٥،٧٨ |
| مقاومة بيئية | ٥١ |
| مكونات النظام البيئى | ٤٥ |
| منتجات (راجع أيضًا شباك، سلاسل، سريان الطاقة) | ٩٧ |
| منشآت (راجع أيضًا مدن، مجتمع، مجتمعات) | ٤٥ |
| موضع بيئى | ٣٠١ |
| ميثان | ١٦٦ |


(ن)


| | |
|---|---|
| نظام اجتماعى | ٣٠٣ |
| نظام بيئى | ١١ |
| استمرارية الـ ــــــ | ٣٦ |
| التسلسل الهرمى فى الـ ــــــ | ٤٨-٥١ |
| تركيب الـ ــــــ | ٤٥ |
| ــــــ تكنولوجى | ٣٣٣،١٥ |
| ــــــ زراعى | |
| ــــــ طبيعى | ٣٣٠ |
| ــــــ مخلق | ٣٣٠،١٥ |
| وظائف الـ ــــــ | ١٨١-١٩٩ |
| نظرية | ٣٠ |
| ــــــ التسلسل الهرمى | ٥٢ |
| ــــــ المعلومات | ٢٠٨ |






نماذج (نموذج) ٦٨-٧٠،٧٩-٨٢،٢٤٧

نهر النيل ٣٦،٢٦٤-٢٩٠

نيتروجين (راجع أيضًا دورة، غلاف) ١٤٩

تحرير الـ ــــــ ١٥٢

تثبيت الـ ــــــ ١٥٠


(هـ)


هولون ٥١


(و)


وظائف (راجع أيضًا نظام بيئى) ١٨١-٢٠٠

وقود ١٦١، ٣١٩، ٣٤٥

وراثه ٢٢٦


(ى)


يابسه ١٣٦






**صدر من سلسلة المراجع الأساسية :**

| | |
|---|---|
| (١) البصريات. | أ.د. أحمد فؤاد باشا |
| | أ.د. شريف أحمد خيرى |
| (٢) مبادئ الكيمياء العملية التحليلية والعضوية وغير العضوية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام. |
| | أ.د. السيد على حسن |
| (٣) أسس الكيمياء العضوية الأروماتية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام. |
| (٤) أسس الكيمياء العضوية الأليفاتية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام. |
| (٥) فيزياء الجوامد. | أ. د. محمد أمين سليمان. |
| | أ.د. أحمد فؤاد باشا |
| | أ.د. شريف أحمد خيرى. |
| (٦) أسس الكيمياء الفيزيائية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام. |
| | أ.د. مصطفى عمارة. |
| (٧) أسس الكيمياء العامة وغير العضوية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام. |
| | أ.د. مصطفى عمارة |
| (٨) علم الفلك العام. | أ. د. مرفت السيد عوض. |
| | أ.د. مصطفى كمال محمود. |
| (٩) أسس علم الميكانيكا. | أ. د. عبد الشافى فهمى عبادة. |
| | أ.د. على محمد أبو ستة. |
| | أ.د. أحمد بدر الدين خليل |
| | أ.د. عبدالرحمن السمان. |
| (١٠) العلوم الجوية وتطبيقاتها «التنمية باستخدام الأرصاد الجوية». | أ. د. محمد الشهاوى. |
| (١١) علم البيئة العام والتنوع البيولوجي. | أ. د. على على المرسى. |
| | أ.د. محمد محمد الشاذلى. |
| (١٢) أساسيات علم النبات العام: الشكل الظاهرى والتركيب التشريحى - تقسيم المملكة النباتية وظائف أعضاء النبات. | أ.د. الإمام عبده قبية. |
| | أ.د. محمود جبر |
| | أ.د. إسماعيل كامل. |
| | أ.د. عفت فهمى شبانة. |

| | |
|---|---|
| (١٣) أسس علم الرياضيات [التفاضل والتكامل]. | أ. د. حسن مصطفى العويضى. |
| | أ.د. عبد الشافى فهمى عبادة. |
| | أ.د. محمد طلعت عبد الناصر. |
| (١٤) الفيزياء النووية. | أ.د.أحمد السعيد الناغى. |
| (١٥) الفيزياء الحيوية. | أ. د. أحمد فؤاد باشا |
| | أ.د. فوزى حامد عبد القادر |
| | أ.د. السيد عوض جعفر |
| (١٦) أشباه الموصلات. | أ.د. شريف أحمد خيرى |
| | أ.د. حسن حسين حسن |
| (١٧) مبادئ الكيمياء النووية. | أ.د. عبد الحكيم طه قنديل |
| (١٨) النسبية وقوى الطبيعة. | أ.د. محمد نبيل ياسين البكرى |
| | أ.د. خالد على كماخى |
| (١٩) كيمياء عناصر الوقود النووى. | أ.د. عبد الحكيم طه قنديل |
| (٢٠) تقنيات القرن ٢١ لتحسين النباتات باستخدام زراعة الأنسجة. | أ.د. عبد الرحيم توفيق الناغى |
| | أ.د. سمير عبد الرازق الشوبكى |
| (٢١) أساسيات علم الحيوان. | أ.د. محمد إسماعيل |
| | أ.د.منى شرقاوى على |
| | أ.د. تغريد عبد الرحمن حسن |
| | أ.د. حلمى بشاى |
| | أ.د. يحيى السيد العاصى |
| (٢٢) أساسيات العلوم الفيزيائية. | أ.د. أحمد فؤاد باشا |
| | أ.د. فوزى حامد عبد القادر |
| | أ.د. شريف أحمد خيرى |
| | أ.د. محمد نبيل يس البكرى |
| (٢٣) أساسيات علم الحشرات. | أ.د. على على المرسى. |
| | أ.د. محمد الشاذلى |
| (٢٤) أسس الكيمياء التحليلية غير الآلية والآلية. | أ.د. أحمد مدحت إسلام |
| | أ.د. مصطفى عمارة |
| (٢٥) الهندسة التحليلية المستوية والفراغية. | أ.د. عبدالشافى فهمى عبادة |
| | أ.د. حسن العويضى مصطفى |

(٢٦) ميكانيكا الكم. — أ.د. محمد نبيل يس البكرى
أ.د. صلاح الدين نبيل يس البكرى

(٢٧) علم البلورات والأشعة السينية. — أ.د. نعيمة عبد القادر أحمد
أ.د. محمد أمين سليمان

(٢٨) كيمياء البيئة: تطبيقات أسس فروع الكيمياء على ملوثات الهواء والماء والتربة. — أ.د. أحمد مدحت إسلام.
أ.د. مصطفى عمارة

(٢٩) الجيولوجيا الفيزيقية والتاريخية. — أ.د. حافظ شمس الدين عبد الوهاب

(٣٠) الفيزياء العملية وتجارب المحاكاة. — أ.د. محمد نبيل يس البكرى وآخرون

(٣١) أسس الجبر والجبر الخطى بين النظرية والتطبيق مع أمثلة محلولة — أ.د. محمد عبد العظيم سعود

(٣٢) مقدمة فى علم الأنظمة البيئية. — أ.د. محمد محمد الشاذلى
مراجعة وتقديم/ أ.د. محمد عبد الفتاح القصاص

| | |
|---|---|
| رقم الإيداع | ١٤٧٠٩ / ٢٠٠٧ |
| I. S. B. N<br>الترقيم الدولى | 977 - 10 -2303 -9 |

لقد أضحى أمر تعريب العلم والتعليم ضرورة من ضرورات النهضة العلمية والتقنية التى تنشدها أمتنا العربية والإسلامية لكى تستأنف مسيرتها الحضارية بلغة القرآن الكريم الذى حفظها قوية حية فى النفوس على الرغم من الوهن الذى أصاب أهلها.

ودار الفكر العربى - من جانبها - قد استشعرت خطورة تأخير هذا المشروع الحضارى الكبير، فسعت جاهدة إلى تحقيق الهدف النبيل، وشرعت فى إعداد «**سلسلة مراجع العلوم الأساسية**» فى مجالات الكيمياء والفيزياء والرياضيات والفلك والعلوم الجوية والجيولوجيا وعلوم الحياة، بحيث تخاطب قارئ العلوم بصورة عامة، وطلاب المرحلتين الثانوية والجامعية على وجه الخصوص.

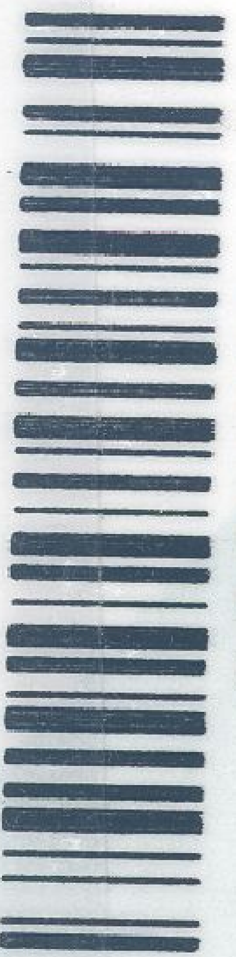
وقد عهدت ودار الفكر العربى بالمسئولية العلمية إلى هيئة استشارية تتولى التخطيط لإصدار هذه السلسلة، واستكتاب أهل الخبرة والاختصاص من علماء الأمة ومفكريها، ومناقشة الأعمال المقدمة قبل صدورها.

## هذه السلسلة

لقد ظهرت فى العشرين عاماً الاخيره العديد من النظريات التى تحاول تفسير الاتزان والاستمرار التلقائى وغيرها من خصائص الأنظمة البيئية، فالنظام البيئى شديد التعقيد إذ يتكون من عدد هائل من المكونات يتراوح بين $10^{15}$ إلى $10^{20}$ وقد ظهر هذا الكتاب لتقليل الفجوة بين المراجع العربية فى علوم البيئة وما وصل إليه العلم حتى بدايات القرن الحادى والعشرين من حقائق عن الأنظمة البيئية، من خلال تسعة فصول تناقش بعض مبادئ العديد من النظريات الحديثة فى النظام البيئى بما فى ذلك المعالجة الديناميكية الحرارية والمعلوماتية للنظام البيئى ومبدأ الشك فى نظريات ونماذج النظام البيئى ومعلوماتية ووظائف النظام بالإضافة إلى مناقشة مفهوم صحة النظام البيئى، كما يناقش الكتاب نظرة بعض العلماء للمدن والتوسع العمرانى على أنها أنظمة بيئية تتداخل مع الأنظمة البيئية الطبيعية وتتفاعل معها......

الناشر

## هذا الكتاب




I.S.B.N. 977-10-2303-9

تطلب جميع منشوراتنا من وكيلنا الوحيد بالكويت والجزائر

دار الكتاب الحديث